

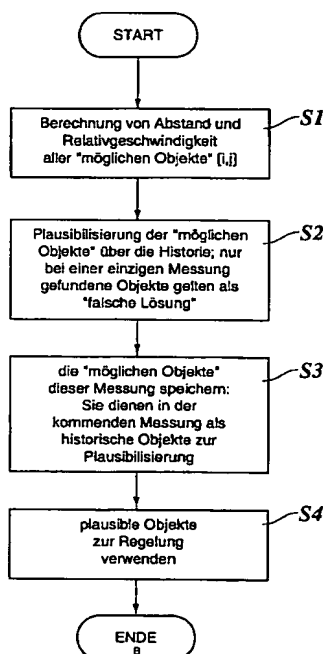
(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
8. April 2004 (08.04.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 2004/029650 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: G01S 13/34, (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von  
13/93 US): ROBERT BOSCH GMBH [DE/DE]; Postfach 30 02  
20, 70442 Stuttgart (DE).
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2003/000821
- (22) Internationales Anmeldedatum: 14. März 2003 (14.03.2003) (72) Erfinder; und  
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): ULBRICHT, Dirk  
[DE/DE]; Stauferstrasse 30, 88239 Wangen i.A. (DE).  
WINTER, Klaus [DE/DE]; Richard-Wagner-Str. 1,  
71701 Schwieberdingen (DE).
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:  
102 43 811.0 20. September 2002 (20.09.2002) DE (81) Bestimmungsstaaten (national): JP, US.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR MEASURING DISTANCES AND SPEEDS OF SEVERAL OBJECTS BY MEANS OF AN FMCW  
RADAR(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR ABSTANDS- UND GESCHWINDIGKEITSMESSUNG AN MEHREREN OBJEKTEN  
MITTELS FMCW-RADAR

- S1 CALCULATE THE DISTANCE AND RELATIVE SPEED OF ALL POTENTIAL  
OBJECTS [i, j]  
S2 PLAUSIBILIZE THE POTENTIAL OBJECTS VIA HISTORY; OBJECTS FOUND  
DURING A SINGLE MEASUREMENT ARE CONSIDERED AS A WRONG  
SOLUTION  
S3 STORE THE POTENTIAL OBJECTS OF SAID MEASUREMENT; THEY WILL  
BE USED AS HISTORIC OBJECTS FOR THE PLAUSIBILITY CHECK DURING  
THE FOLLOWING MEASUREMENT  
S4 USE PLAUSIBLE OBJECTS FOR REGULATING  
B. END

(57) Abstract: Disclosed is a method for measuring distances and speeds of several objects by means of an FMCW radar. According to said method: - measurements comprising at least two different frequency ramps are cyclically repeated; - the transmitted signal is mixed with the received signal and the spectrum of the mixed signal is recorded for each measurement; - the peaks of the spectra that have been recorded for different ramps are associated with each other in a matching procedure, said peaks belonging to the same object, and the distances and speeds of the objects are calculated from the frequencies of the peaks; and - the objects that have been measured at different times are mutually identified according to the consistency of the distance data and speed data thereof in a tracking procedure. The inventive method is characterized by the following: - each measuring cycle comprises no more than three measurements with different frequency ramps; - the distance and speed of a potential object that is represented by two peaks, one of which has been recorded during a first measurement while the other one has been recorded during a second measurement in the same cycle, are calculated from said two peaks for each plausible combination [i, j]; - the expected result of at least one additional measurement is calculated from the distance and speed of the potential object; and - the potential object is discarded if at least one expected result does not match the measured result.

(57) Zusammenfassung: Verfahren zur Abstands- und Geschwindigkeitsmessung an mehreren Objekten mittels FMCW-Radar, bei dem: - Messungen mit mindestens zwei verschiedenen Frequenzrampen zyklisch wiederholt werden, in jeder Messung das gesendete Signal mit dem empfangenen Signal gemischt wird und das Spektrum des gemischten Signals aufgenommen wird, in einer Matching-Prozedur, die zu desselben Objekt gehörenden Peaks in den für verschiedene Rampen aufgenommenen Spektren einander zugeordnet werden und die Abstände und Geschwindigkeiten der Objekte aus den Frequenzen der Peaks berechnet werden und in einer Tracking-Prozedur die zu verschiedenen Zeiten gemessenen Objekte anhand der Konsistenz ihrer Abstands- und Geschwindigkeitsdaten miteinander identifiziert werden,

dadurch gekennzeichnet

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



(84) Bestimmungsstaaten (*regional*): europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

**Veröffentlicht:**

— mit internationalem Recherchenbericht

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

---

net, dass jeder Messzyklus höchstens drei Messungen mit verschiedenen Frequenzrampen umfasst, für jede plausible Kombination [i,j] aus zwei Peaks, von denen einer bei einer ersten Messung und der andere bei einer zweiten Messung desselben Zyklus aufgenommen wurde, der Abstand und die Geschwindigkeit eines durch diese Peaks repräsentierten möglichen Objekts berechnet werden, aus dem Abstand und der Geschwindigkeit des möglichen Objekts das erwartete Resultat mindestens einer weiteren Messung berechnet 35 wird und das mögliche Objekt verworfen wird, wenn nicht mindestens ein erwartetes Resultat mit dem gemessenen Resultat übereinstimmt.

5

10

Verfahren zur Abstands- und Geschwindigkeitsmessung an mehreren Objekten mittels FMCW-Radar

15 Stand der Technik

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Abstands- und Geschwindigkeitsmessung an mehreren Objekten mittels FMCW-Radar, bei dem:

- Messungen mit mindestens zwei verschiedenen Frequenzrampen zy-
- 20 klisch wiederholt werden,
- in jeder Messung das gesendete Signal mit dem empfangenen Signal gemischt wird und das Spektrum des gemischten Signals aufgenommen wird,
- in einer Matching-Prozedur die zu demselben Objekt gehörenden
- 25 Peaks in den für verschiedene Rampen aufgenommenen Spektren einander zugeordnet werden und die Abstände und Geschwindigkeiten der Objekte aus den Frequenzen der Peaks berechnet werden und
- in einer Tracking-Prozedur die zu verschiedenen Zeiten gemessenen Objekte anhand der Konsistenz ihrer Abstands- und Geschwindig-
- 30 keitsdaten miteinander identifiziert werden.

Insbesondere befaßt sich die Erfindung mit einem Verfahren dieser Art, das in Abstandswarngeräten oder Abstandsregelsystemen für Kraftfahrzeuge eingesetzt wird.

35

Aus der Praxis ist ein Abstandsregelsystem, ein sogenanntes ACC-System (Adaptive Cruise Control) für Kraftfahrzeuge bekannt, das mit

einem FMCW-Radar (Frequency Modulated Continuous Wave) arbeitet. Das Funktionsprinzip wird beschrieben in Winner: "Adaptive Cruise Control", Automotive Electronics Handbook, herausgegeben von Ronald K. Jurgen, 2. Auflage, McGraw-Hill Inc., Kapitel 30.1 (1999). Die Radarwellen werden kontinuierlich emittiert, und die Frequenz wird gemäß einer Rampenfunktion moduliert, die aus einer zyklischen Abfolge von vier Rampen mit unterschiedlichen Steigungen besteht. Die Rampen bilden zwei Paare, die jeweils aus einer steigenden und einer fallenden Rampe bestehen. Die Beträge der Steigungen sind innerhalb jedes Paares gleich, jedoch von Paar zu Paar verschieden. Durch Mischen des gesendeten Signals mit dem empfangenen Signal, das durch Reflexion der Radarwellen an mehreren Objekten entsteht, wird ein NF-Signal gebildet, dessen Frequenz der Differenz zwischen der Frequenz des gesendeten Signals und der Frequenz des reflektierten Signals entspricht. In jeder einzelnen Messung wird während der Dauer einer Frequenzrampe mit konstanter Steigung das Spektrum des NF-Signals aufgenommen. In diesem Spektrum wird jedes Objekt durch eine Peak repräsentiert, dessen Frequenz  $f$  gemäß folgender Gleichung von dem Abstand  $d$  und der Geschwindigkeit  $v$  (Relativgeschwindigkeit) des Objekts abhängig ist:

$$f = | (2 * F / c * T) * d + (2 * f_s / c) * v | \quad (1)$$

Darin bedeuten:

25

$f$  Peak-Frequenz im NF-Signal

$F$  Frequenzhub (Frequenz am Ende der Rampe - Frequenz am Beginn der Rampe)

30

$c$  Lichtgeschwindigkeit

$T$  Modulationsdauer (der Rampe)

35  $f_s$  Frequenz des gesendeten Signals

Der erste Term in Gleichung (1) ist proportional zur Signallauf-

zeit,  $d/c$  und zur Rampensteigung  $F/T$ . Der zweite Term entspricht der Dopplerverschiebung des reflektierten Signals.

Wenn nur ein einziges reflektierendes Objekt vorhanden ist, lassen  
5 sich der Abstand  $d$  und die Relativgeschwindigkeit  $v$  dieses Objekts  
aus den Peak-Frequenzen  $f_1$  und  $f_2$  berechnen, die durch zwei Messun-  
gen mit unterschiedlichen Rampensteigungen erhalten werden. Dazu  
wird das folgende Gleichungssystem gelöst:

$$10 \quad f_1 = \alpha * d + \beta * v \quad (2)$$

$$f_2 = \gamma * d + \beta * v$$

mit:

$$15 \quad \alpha = 2 * f / c * T \text{ für die erste Rampe,}$$

$$\beta = 2 * f_s / c$$

$$20 \quad \gamma = 2 * F / c * T \text{ für die zweite Rampe}$$

Bei mehreren Objekten kommt es jedoch zu Mehrdeutigkeiten, weil  
nicht klar ist, welcher Peak zu welchem Objekt gehört. Diese Mehr-  
deutigkeit wird bei dem bekannten Verfahren dadurch beseitigt, daß  
25 zwei zusätzliche Messungen mit einer anderen Rampensteigung durch-  
geführt werden. Da sich die Abstände und Relativgeschwindigkeiten  
der Objekte innerhalb der Zeit, in der die vier Messungen durchge-  
führt werden, allenfalls geringfügig ändern, muß die Zuordnung zw-  
ischen den Peaks und den Objekten so vorgenommen werden, daß man für  
30 die ersten beiden Messungen die gleichen Abstände und Relativge-  
schwindigkeiten erhält wie für die letzten beiden Messungen. Diese  
Zuordnung der Peaks zu den Objekten wird als "Matching" bezeichnet.

Für praktische Anwendungen, beispielsweise in einem ACC-System, ist  
35 es generell erforderlich, die gemessenen Abstände und Relativge-  
schwindigkeiten der verschiedenen Objekte über einen längeren Zeit-  
raum verfolgen zu können. In einer Prozedur, die als "Tracking" be-  
zeichnet wird, müssen deshalb die in einem Meßzyklus gemessenen Ob-

jekte mit den in einem vorangegangenen Zyklus gemessenen Objekten identifiziert werden. Diese Tracking-Prozedur basiert auf dem Kriterium, daß die zu verschiedenen Zeiten gemessenen Abstände und Relativgeschwindigkeiten für jedes Objekt eine plausible und insbesondere physikalisch mögliche Bewegung des Objekts ergeben müssen.

In US 5 600 561 A wird ein Verfahren beschrieben, bei dem mit Hilfe des Radars nur die Abstände gemessen werden und die Objektgeschwindigkeiten aus den Abstandsänderungen berechnet werden. Die Zuordnung der für verschiedene Objekte gemessenen Abstände zu den einzelnen Objekten wird dabei so vorgenommen, daß die neu aufgenommenen Abstandsdaten mit den zuvor berechneten Geschwindigkeiten konsistent sind.

Ein FMCW-Radar hat demgegenüber den Vorteil, daß die Relativgeschwindigkeiten der Objekte direkt gemessen werden können. Allerdings lassen sich verschiedene Objekte sowohl hinsichtlich ihrer Abstände als auch hinsichtlich Ihrer Relativgeschwindigkeiten nur mit einer begrenzten Auflösung voneinander unterscheiden.

20

Vorteile der Erfindung

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zur Abstands- und Geschwindigkeitsmessung mittels FMCW-Radar zu schaffen, daß eine verbesserte Objektauflösung ermöglicht.

25

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß bei einem Verfahren der Eingangs genannten Art dadurch gelöst, daß

- 30 - jeder Meßzyklus höchstens drei Messungen mit verschiedenen Frequenzrampen umfaßt,  
- für jede plausible Kombination aus zwei Peaks, von denen einer bei einer ersten Messung und der andere bei einer zweiten Messung desselben Zyklus aufgenommen wurde, der Abstand und die Geschwindigkeit eines durch diese Peaks repräsentierten möglichen Objekts  
35 berechnet werden,  
- aus dem Abstand und der Geschwindigkeit des möglichen Objekts

- 5 -

das erwartete Resultat mindestens einer weiteren Messung berechnet wird und

- das mögliche Objekt verworfen wird, wenn nicht mindestens ein erwartetes Resultat mit dem gemessenen Resultat übereinstimmt.

5

Eine Ursache für das begrenzte Auflösungsvermögen des FMCW-Radars besteht darin, daß die in den einzelnen Spektren auftretenden Peaks jeweils eine endliche Breite haben. Dabei besteht eine "Unschärfe-

10 Aufnahme der Spektren zur Verfügung steht. Wenn z. B. die NF-Signale abgetastet werden, um diskrete Spektren mit einer Anzahl  $n$  von Abtastwerten zu erhalten, so steht für jeden Abtastwert die Abtastzeit  $T/n$  zur Verfügung ( $T$  = Modulationsdauer). In diesem Fall ist die Auflösung bezüglich des Abstands proportional zum Modulations-

15 onshub  $F$ , und die Auflösung bezüglich der Relativgeschwindigkeit ist proportional zur Modulationsdauer  $T$ .

Das erfindungsgemäße Verfahren hat nun gegenüber dem herkömmlichen Verfahren den Vorteil, daß innerhalb jedes Meßzyklus nicht vier,

20 sondern höchstens drei Messungen durchgeführt werden, so daß bei gleicher Zyklusdauer eine größere Modulationsdauer zur Verfügung steht und dementsprechend eine bessere Auflösung hinsichtlich der Relativgeschwindigkeit erreicht wird.

25 Die Beseitigung von Mehrdeutigkeiten im Fall mehrerer Objekte wird bei dem erfindungsgemäßen Verfahren dadurch erreicht, daß die Matching-Prozedur und die Tracking-Prozedur miteinander verknüpft werden. Wenn sich  $m$ -Objekte im Ortungsbereichs des Radars befinden, erhält man bei der ersten Messung Peaks bei den Frequenzen  $f(1,i)$ ,

30  $i = 1 \dots m$ , und bei der zweiten Messung erhält man Peak-Frequenzen  $f(2,j)$ ,  $j = 1, \dots, m$ . Jedes Paar  $(i, j)$  von Peaks wird als ein mögliches Objekt betrachtet, dem sich ein Abstand  $d_{i,j}$  und eine Relativgeschwindigkeit  $v_{i,j}$  zuordnen läßt. Aus den so gewonnenen Abstands- und Relativgeschwindigkeitsdaten für jedes mögliche Objekt

35 läßt sich berechnen, welches Resultat für dieses Objekt bei einer weiteren Messung zu erwarten wäre. Bei dieser weiteren Messung kann es sich je nach Ausführungsvariante des Verfahrens um eine Ab-

stands- und Geschwindigkeitsmessung in einem anderen Meßzyklus oder um eine dritte Messung innerhalb desselben Zyklus handeln, mit einer von den beiden ersten Messungen verschiedenen Rampensteigung. Das erwartete Resultat wird dann mit dem tatsächlich bei der weiteren Messung erhaltenen Resultat verglichen, und wenn diese Resultate nicht übereinstimmen, wird das betreffende Objekt verworfen. Es bleiben somit nur die Abstands- und Geschwindigkeitsdaten für diejenigen Peakpaare übrig, denen reale Objekte entsprechen.

- 10 Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen.

In einer Ausführungsform umfaßt der Meßzyklus lediglich zwei Messungen mit entgegengesetzt gleichen Rampensteigungen. Bei gegebener Zyklusdauer ist dann die Modulationsdauer doppelt so groß wie bei den herkömmlichen Verfahren, bei denen mit vier Messungen gearbeitet wird. Dementsprechend wird die Auflösung hinsichtlich der Relativgeschwindigkeiten um den Faktor 2 verbessert. Ein weiterer Vorteil besteht darin, daß sämtliche Messungen mit einem maximalen Frequenzhub durchgeführt werden können, bei dem der zur Verfügung stehende Frequenzbereich des Mikrowellensenders voll ausgenutzt wird. Dementsprechend wird auch bei jeder Messung eine maximale Auflösung hinsichtlich des Abstands erreicht, während bei dem herkömmlichen Verfahren zwei der vier Messungen mit einer kleineren Rampensteigung und dementsprechend mit einem kleineren Frequenzhub ausgeführt werden mußten. Insgesamt läßt sich so bei relativ kleiner Zyklusdauer -und entsprechend hoher zeitlicher Auflösung bei der Objektsuche und -verfolgung - sowohl hinsichtlich der Abstandsmessung als auch hinsichtlich der Relativgeschwindigkeitsmessung eine hohe Auflösung erreichen.

Die weitere Messung, deren Resultat mit dem erwarteten Resultat verglichen wird, besteht bei dieser Ausführungsform in einer Abstands- und Relativgeschwindigkeitsmessung in einem früheren oder späteren Meßzyklus. Die Übereinstimmung der Resultate bedeutet dann nicht nur, daß es sich bei dem betreffenden möglichen Objekt um ein reales Objekt handelt, sondern bedeutet zugleich, daß das Objekt



auch mit einem Objekt in dem früheren oder späteren Meßzyklus identifiziert wurde, so daß die Tracking-Prozedur erfolgreich war.

5 Beispielsweise wird aus dem im aktuellen Zyklus gemessenen Abstand und der zugehörigen Relativgeschwindigkeit berechnet, welchen Abstand dasselbe Objekt im unmittelbar vorausgegangenen Meßzyklus gehabt haben müßte. Im einfachsten Fall kann dabei angenommen werden, daß die Änderung der Relativgeschwindigkeit von Meßzyklus zu Meßzyklus vernachlässigbar klein ist.

10

Wahlweise kann jedoch auch eine erweiterte Tracking-Prozedur angewandt werden, bei der nicht nur der unmittelbar vorausgegangene Meßzyklus, sondern eine größere Anzahl vorausgegangener Meßzyklen berücksichtigt wird. Es ist möglich, daß von einem realen Objekt 15 aufgrund von Störeinflüssen innerhalb eines einzelnen Meßzyklus kein Echo empfangen wurde. In diesem Fall bietet die erweiterte Tracking-Prozedur mit Berücksichtigung mehrerer Meßzyklen den Vorteil, daß das Objekt gleichwohl als reales Objekt erkannt und erfolgreich "getrackt" werden kann.

20

Statt den erwarteten Abstand und die erwartete Relativgeschwindigkeit des Objekts für einen vorausgegangenen Meßzyklus zu berechnen und mit den tatsächlich gemessenen Werten zu vergleichen, ist es in einer modifizierten Ausführungsform auch möglich, aus den im aktuellen Zyklus gemessenen Daten direkt die Frequenz zu berechnen, bei 25 der in dem anderen (früheren oder späteren) Zyklus der Peak für dieses Objekt gefunden werden müßte. Das Resultat läßt sich dann sehr leicht verifizieren, indem gezielt nach einem Peak an dieser Stelle gesucht wird. Auch bei dieser Variante ist ein erweitertes 30 Tracking mit Berücksichtigung mehrerer Meßzyklen möglich.

Bei der Ausführungsform des Verfahrens, bei der mit drei Messungen innerhalb eines Meßzyklus gearbeitet wird, hat bevorzugt die dritte Messung eine größere Modulationsdauer als die beiden ersten Messungen. Auf diese Weise wird speziell bei der dritten Messung eine besonders hohe Auflösung hinsichtlich der Relativgeschwindigkeit erreicht. Auch bei der dritten Messung kann wieder mit maximalem Fre-

quenzhub gearbeitet werden, so daß auch hier bei sämtlichen Messungen eine maximale Abstandsauflösung erreicht wird.

Auch diese Ausführungsform läßt sich mit dem Tracking unter Berücksichtigung des unmittelbar vorausgehenden Meßzyklus oder mehrerer vorangegangener Meßzyklen kombinieren. Beispielsweise kann für reale Objekte verlangt werden, daß in zwei aufeinanderfolgenden Messungen in allen drei Spektren die entsprechende Frequenz gemessen wurde. Wahlweise kann dieses Verfahren aber auch so mit dem Tracking kombiniert werden, daß die Bestätigung, ob es sich um ein reales Objekt handelt, situationsabhängig mit Hilfe des einfachen Trackings, mit Hilfe der dritten Frequenzrampe oder mit beiden erfolgt. Dabei können die dritte Rampe und das Tracking auch durch "oder" verknüpft werden, so daß ein Objekt als real erkannt wird, wenn nur eines der erwarteten Resultate bestätigt wird, sei es das Resultat für den vorausgegangenen Meßzyklus oder das Resultat für die Messung mit der dritten Frequenzrampe. Auch bei diesen Varianten ist in allen Kombinationen ein erweitertes Tracking mit Berücksichtigung von mehr als zwei Meßzyklen möglich.

20

Zeichnung

Im folgenden werden Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der Zeichnungen näher erläutert.

25

Es zeigen:

- |         |  |
|---------|--|
| Figur 1 | ein Frequenz/Zeit-Diagramm zur Erläuterung der Funktionsweise eines FMCW-Radars; |
| 30      |  |
| Figur 2 | Beispiele für Spektren, die mit dem FMCW-Radar aufgenommen werden;               |
| Figur 3 | ein Diagramm zur Erläuterung eines Verfahrens zur Bestimmung des Objektabstands, |
| 35      |  |
| Figur 4 | ein Diagramm analog zu Figur 3, jedoch für                                       |

einen größeren Frequenzhub des Radarsignals;

Figur 5 ein Diagramm zur Erläuterung eines Verfahrens  
zur Bestimmung der Relativgeschwindigkeiten  
von Objekten;

Figur 6 ein Diagramm analog zu Figur 5, jedoch für  
einen größeren Frequenzhub des Radarsignals;

Figur 7 ein Flußdiagramm zur Erläuterung des allge-  
meinen Prinzips einer ersten Ausführungsform  
des erfindungsgemäßen Verfahrens;

Figur 8 ein detaillierteres Flußdiagramm des Verfah-  
rens nach Figur 7;

Figur 9 ein Flußdiagramm einer Unteroutine in dem  
Verfahren gemäß Figur 8;

Figuren 10 und 11 Ausführungsbeispiele für eine weitere Unter-  
routine in dem Verfahren gemäß Figur 8;

Figur 12 ein Flußdiagramm zu einer Abwandlung des Ver-  
fahrens gemäß Figur 8;

Figuren 13 und 14 Beispiele für eine Unteroutine in dem Ver-  
fahren gemäß Figur 12;

Figur 15 ein Frequenz/Zeit-Diagramm für eine andere  
Ausführungsform des Verfahrens; und

Figuren 16 bis 18 Flußdiagramme für unterschiedliche Varianten  
des Verfahrens nach Figur 15.

Beschreibung von Ausführungsbeispielen

Gemäß Figur 1 werden bei einem FMCW-Radar fortlaufend Radarwellen

- mit variabler Frequenz  $f_s$  emittiert. Die fett eingezeichnete Kurve 10 gibt die Zeitabhängigkeit der Frequenz  $f_s$  an. Diese Frequenz wird periodisch variiert gemäß einer Rampenfunktion mit einer ansteigenden ersten Rampe 12 und einer abfallenden zweiten Rampe 14.
- 5 Die Rampen 12, 14 gehören zu zwei Messungen M1 und M2, die zyklisch wiederholt werden. Die Rampen für beide Messungen haben den gleichen Frequenzhub  $F$  und gleiche Modulatinsdauern  $T_1$  und  $T_2$ , und folglich sind ihre Steigungen entgegengesetzt gleich.
- 10 Die Frequenzkurve 16 für das zugehörige Radarecho eines einzelnen Objektes ist gestrichelt dargestellt. Diese Kurve weist die gleichen Rampen 18 und 20 auf, jedoch mit einem Zeitversatz  $\Delta t$ , der durch den Objektabstand gegeben ist, und mit einem Frequenzversatz  $\Delta f$ , der durch die Dopplerverschiebung bestimmt ist.
- 15 Im Radarsensor wird die ausgesandte Welle mit dem empfangenen Radarecho gemischt, so daß man ein niederfrequentes Schwebungssignal (NF-Signal) mit einer Frequenz  $f$  enthält, die dem Frequenzunterschied zwischen den emittierten Wellen und den empfangenen Wellen
- 20 entspricht. Von diesem Schwebungssignal wird während jeder Messung M1, M2 ein Frequenzspektrum aufgenommen, beispielsweise durch Schnelle Fouriertransformation.
- Figur 2 zeigt Beispiele für zwei Frequenzspektren 22, 24, die bei
- 25 den beiden Messungen M1 und M2 erhalten werden, wenn sich ein einzelnes Objekt, z.B. ein vorausfahrendes Fahrzeug, im Ortungsbereich Radars befindet. Jedes Spektrum hat in diesem Fall einen Peak mit einem Scheitel bei der Peak-Frequenz  $f_1$  bzw.  $f_2$ , die dem Frequenzunterschied der Kurven 10 und 16 auf den betreffenden Rampen 12
- 30 und 18 bzw. 14 und 20 entspricht. Der Frequenzunterschied ist maßgeblich von dem Produkt aus dem Zeitversatz  $\Delta t$  (Signallaufzeit) und der Rampensteigung abhängig, wird jedoch während der ansteigenden Flanken 12, 18 um die Dopplerfrequenz vermindert, während der abfallenden Flanken 14, 20 hingegen um die Dopplerfrequenz vergrößert
- 35 (bei positiver Dopplerverschiebung zu größeren Frequenzen, entsprechend einer Annäherung des Radarziels). Der Mittelwert der Frequenzen  $f_1$  und  $f_2$ , bei denen die beiden Peaks 22, 24 in Figur 2 liegen,

- 11 -

entspricht daher der Signallaufzeit und gibt somit den Abstand  $d$  des Objekts an, während die Hälfte der Differenz zwischen diesen beiden Frequenzen die Dopplerverschiebung und damit Betrag und Vorzeichen der Relativgeschwindigkeit  $v$  des Objekts angibt. Die Relativgeschwindigkeit  $v$  ist proportional zu  $(f_1 - f_2) / 2$ .

Während der Dauer einer einzelnen Messung  $M_1$  oder  $M_2$  ist die Frequenz des NF-Signals, dessen Spektrum in Figur 2 gezeigt ist, weitgehend konstant. Dennoch haben die Peaks 22, 24 auch bei scharf definierten Objektabständen  $d$  und Relativgeschwindigkeiten  $v$  eine gewisse Breite, die aufgrund der Eigenschaften der Fouriertransformation etwa umgekehrt proportional zur Meßzeit ist. Die zur Verfügung stehende Meßzeit ist ihrerseits proportional zur Modulationsdauer  $T_1$  bzw.  $T_2$ .

Wenn sich im Ortungsbereich des Radars zwei Objekte befinden, deren Peaks so nahe bei einander liegen, daß ihr Abstand klein im Verhältnis zur Breite der Peaks ist, so können die entsprechenden Peaks im Spektrum nicht mehr aufgelöst werden, und folglich lassen sich beiden Objekte nicht mehr voneinander unterscheiden. Die Auflösung ist um so besser, je schärfer die Peaks definiert sind, d. h., je größer die Modulationsdauern  $T_1$ ,  $T_2$  sind.

Die Auflösung hinsichtlich des Objektabstands läßt sich verbessern, indem der Frequenzhub  $F$  vergrößert wird. Dies soll anhand der Figuren 3 und 4 erläutert werden.

In Figur 3 sind außer der Kurve 10 die Kurven 26, 28 zweier Radar-Echos eingezeichnet, die von zwei verschiedenen Objekten erhalten werden. Für jede der Kurven 26, 28 ist die Differenz  $D_{26}$  bzw.  $D_{28}$  zwischen den Peak-Frequenzen auf der ersten und zweiten Rampe angegeben. Diese Differenz ist von der Dopplerverschiebung unabhängig und repräsentiert daher allein die Laufzeit und damit den Objektabstand  $d$ .

Figur 4 zeigt das gleiche für einen größeren Frequenzhub  $F$ . Man erkennt, daß hier die Differenzen  $D_{26}$  und  $D_{28}$  proportional zum Fre-

quenzhub vergrößert sind, so daß sich die Peaks deutlicher unterscheiden lassen. Die gleiche Spreizung der Differenzen D26 und D28 ließe sich auch dadurch erreichen, daß bei unveränderten Frequenzhub F die Modulationsdauern verkleinert werden, so daß man die gleichen Rampensteigungen erreicht wie in Figur 4. Die größere Spreizung würde dann jedoch nicht zu einer höheren Auflösung führen, da sich aufgrund der kürzeren Meßdauer die Peaks entsprechend verbreitern würden. Der entscheidende Parameter für die Auflösung der Abstände ist deshalb der Frequenzhub F. Bei dem hier beschriebenen Beispiel wird bei beiden Messungen M1 und M2 mit dem maximalen Frequenzhub gearbeitet, der aufgrund der Konzeption des Radargerätes erreichbar ist.

In Figuren 5 und 6 ist illustriert, daß sich durch Vergrößerung des Frequenzhubes F keine bessere Auflösung hinsichtlich der Relativgeschwindigkeiten erreichen läßt. In Figur 5 sind für die beiden Kurven 26 und 28 die Summen S26 und S28 der Frequenzunterschiede auf den beiden Rampen angegeben. Die abstandsabhängigen Laufzeitdifferenzen haben auf den Frequenzunterschied in den beiden Rampen die genau gegenteilige Wirkung und heben sich daher bei der Summenbildung auf, so daß die Summen S26 und S28 allein die Dopplerverschiebung für die betreffenden Objekte repräsentieren. Da diese Dopplerverschiebung nicht vom Frequenzhub abhängig ist, sind die Summen S26 und S28 in Figur 6 nicht größer als in Figur 5. Eine bessere Auflösung hinsichtlich der Relativgeschwindigkeiten läßt sich deshalb nur durch längere Modulationsdauern T1, T2 erreichen.

Andererseits sollte aber die gesamte Zykluszeit  $T = T1 + T2$  nicht zu groß sein, damit die in einem Meßzyklus erkannten Objekte im nächsten Meßzyklus mit Hilfe einer Tracking-Prozedur aufgrund ähnlicher Abstände und Relativgeschwindigkeiten wiedererkannt werden können und damit sich die Bewegungen der Objekte mit hoher Zeitauflösung verfolgen lassen. Bei der hier gezeigten Ausführungsform lassen sich diese einander widersprechenden Anforderungen erfüllen, da während eines Meßzyklus nur zwei Messungen durchgeführt zu werden brauchen, so daß die Modulationsdauer relativ groß ist (halb so groß wie die Zyklusdauer). Es wird jedoch eine Matching-Prozedur

benötigt, die es gestattet, aufgrund der zwei Messungen pro Meßzyklus die Mehrdeutigkeiten bei der Erkennung mehrerer Objekte zu beseitigen, indem die bei der ersten Messung aufgenommenen Peaks und die bei der zweiten Messung aufgenommenen Peaks einander richtig zugeordnet werden.

Dies wird bei dem hier beschriebenen Verfahren dadurch erreicht, daß die Matching-Prozedur mit der Tracking-Prozedur kombiniert wird, wie in groben Zügen in Figur 7 dargestellt ist.

10

Dazu werden in Schritt S1 in Figur 7 zunächst die Abstände und Relativgeschwindigkeiten für alle "möglichen Objekte"  $[i, j]$  berechnet. Als "mögliche Objekte" werden dabei alle Paare  $[i, j]$  von Peaks betrachtet, wobei  $i$  die laufende Nummer aller Peaks aus dem bei der ersten Messung M1 aufgenommenen Spektrum und  $j$  die laufende Nummer aller Peaks aus dem bei der Messung M2 aufgenommenen Spektrum ist. Wenn insgesamt  $m$ -Objekte vorhanden sind, gibt es in jedem Spektrum  $m$  Peaks, und die Anzahl der möglichen Objekte ist  $m^2$ . Die realen Objekte werden durch eine aus  $m$  Paaren bestehende Teilmenge der Menge aller möglichen Objekte repräsentiert.

In Schritt S2 werden die realen Objekte von den irrealen Objekten unterschieden, indem die Historie, d. h., die Ergebnisse vorangegangener Messungen herangezogen werden. Das Kriterium ist dabei, daß für reale Objekte ein plausibler Zusammenhang zwischen den Resultaten der aktuellen Messung und den Resultaten einer der vorausgegangenen Messungen bestehen muß. Beispielsweise ist es möglich, die Abstände und Relativgeschwindigkeiten aus dem aktuellen Meßzyklus mit den Abständen und Relativgeschwindigkeiten aus dem vorangegangenen Meßzyklus zu vergleichen, wie es üblicherweise auch bei einer Tracking-Prozedur geschieht. Für reale Objekte sollten dann die Relativgeschwindigkeiten nahezu identisch sein, und die Differenz zwischen den Abständen muß annähernd mit dem Produkt aus der Relativgeschwindigkeit und der Zyklusdauer  $T$  übereinstimmen. Peakpaare, für die sich nicht in mindestens einer der vorangegangenen Messungen ein Partner findet, der diese Kriterien erfüllt, werden als "falsche Lösung", d. h., als irreale Objekte ausgesondert. Da-

bei werden allerdings zu Unrecht auch reale Objekte ausgesondert, die im aktuellen Meßzyklus erstmals vom Radargerät erfaßt wurden. Damit diese Objekte in späteren Meßzyklen erkannt werden können, werden in Schritt S3 die Resultate für alle möglichen Objekte gespeichert. Für die weitere Auswertung, beispielsweise für die Abstandsregelung in einem Kraftfahrzeug, werden jedoch in Schritt S5 lediglich die "plausiblen", als reale Objekte erkannten Peakpaare herangezogen.

10 In Figur 8 ist der Verfahrensablauf detaillierter dargestellt.

Im Anschluß an den Schritt S1 wird in Schritt S21 das erste mögliche Objekt aus der Liste aller möglichen Objekte ausgewählt. In Schritt S22 wird dann abgeschätzt, welchen Abstand und welche Relativgeschwindigkeit dieses Objekt im vorangegangenen Meßzyklus gehabt haben müßte. Anhand der Resultate, die im vorangegangenen Meßzyklus in Schritt S3 gespeichert wurden, wird dann Schritt S23 überprüft, ob sich unter den Objekten aus dem vorangegangenen Zyklus tatsächlich ein Objekt mit passendem Abstand und passender Relativgeschwindigkeit findet. Wenn dies der Fall ist, so wird in Schritt S24 das Objekt, das in Schritt S21 ausgewählt wurde, in die Liste der realen Objekt übernommen. Andernfalls wird das Objekt verworfen.

25 In Schritt S25 wird geprüft, ob bereits sämtliche Objekte des aktuellen Zyklus überprüft worden sind. Wenn dies nicht der Fall ist, wird in Schritt S26 das nächste Objekt aus der aktuellen Liste ausgewählt und es erfolgt ein Rücksprung zu Schritt S22. In einer Schleife mit den Schritten S22 - S26 werden dann nacheinander sämtliche Objekte in dieser Weise überprüft. Nach der Überprüfung für das letzte Objekt wird die Schleife nach Schritt S25 verlassen.

Es ist möglich, daß die Liste der möglichen Objekte, die im vorangegangenen Zyklus gespeichert wurde, noch Objekte enthält, die im aktuellen Zyklus nicht wiedergefunden werden. Diese Objekte werden nun in Schritt S27 gelöscht. Bei dieser Ausführungsform wird somit nur ein einfaches "Tracking" durchgeführt, bei dem die aktuellen



Objekte nur mit den Objekten aus den unmittelbar vorangegangenen Meßzyklus verglichen werden.

Der Schritt S1 in Figuren 7 und 8 besteht aus einer Unterroutine, deren Flußdiagramm in Figur 9 dargestellt ist. Dabei wird angenommen, daß die im aktuellen Zyklus bei der ersten Messung und bei der zweiten Messung aufgenommenen Spektren jeweils eine der Anzahl der Objekte entsprechende Anzahl von Peaks aufweisen, die jeweils bei einer bestimmten Frequenz liegen. Bei  $m$  Objekten enthält somit jedes Spektrum  $m$  Frequenzen, an denen sich ein Peak befindet. In Schritt S11 wird die erste dieser Frequenzen aus dem ersten Spektrum ausgewählt. Entsprechend wird in Schritt S12 die erste Frequenz aus dem zweiten Spektrum ausgewählt. In Schritt S13 erfolgt eine erste Plausibilitätsprüfung aufgrund des Kriteriums, daß die Amplituden bei der ersten Frequenz im ersten Spektrum und der ersten Frequenz im zweiten Spektrum ähnliche Werte haben müssen, falls es sich bei dem betreffenden Peakpaar um ein reales Objekt handelt. Wenn die Amplituden deutlich verschieden sind, handelt es sich offensichtlich nicht um Echos von dem selben Objekt, so daß das betreffende Peakpaar von vornherein verworfen werden kann.

In Schritt S14 erfolgt eine zweite Plausibilitätsprüfung auf der Grundlage des Kriteriums, daß die Signale, die von demselben Objekt reflektiert wurden, auch aus einer ähnlichen Richtung kommen müssen. Wenn dieses Kriterium für das betrachtete Peakpaar nicht erfüllt ist, kann dieses Peakpaar ebenfalls verworfen werden. Die Überprüfungen in den Schritten S13 und S14 ermöglichen eine Reduzierung des Rechenaufwands, sind jedoch für das Verfahren nicht zwingend.

In Schritt S15 erfolgt dann die eigentliche Berechnung des Abstands  $d$  und der Relativgeschwindigkeit  $v$  für das mögliche Objekt, das durch das betrachtete Peakpaar repräsentiert wird. Diese Berechnung erfolgt durch Lösung des im Einleitungsteil der Beschreibung angegebenen Gleichungssystems (2). Die Frequenz  $f(1,i)$  ist hier die Frequenz für den Peak  $i$  im ersten Spektrum, und die Frequenz  $f(2,j)$  ist die Frequenz des Peaks  $j$  im zweiten Spektrum. Wenn die Plausibilitätsprüfung in Schritt S13 oder S14 negativ war, wird der

- 16 -

Schritt S15 übersprungen. Die Berechnungen in Schritt S15 erfolgen somit nicht für jede Kombination von Peaks, sondern nur für jene Kombinationen von Peaks, die in dem Sinne plausibel sind, das sie die in den Schritten S13 und S14 überprüften Kriterien erfüllen.

- 5 Nur diese Peakpaare bleiben in der Liste möglicher Objekte gespeichert.

- Die Schritte S16 bis S19 steuern den Programmablauf in zwei ineinander geschachtelten Schleifen, in denen nacheinander sämtliche  
10 Kombinationen von Peaks  $i$  und  $j$  in den beiden Spektren überprüft werden.

- Nachdem auf diese Weise für alle möglichen Objekte, zumindest für alle plausiblen, die Abstände  $d$  und die Relativgeschwindigkeiten  $v$   
15 berechnet worden sind, kann anhand dieser Daten der Schritt S22 in Figur 8 ausgeführt werden, in dem anhand der Relativgeschwindigkeiten zurückgerechnet wird, welche Abstände die betreffenden Objekte im vorangegangenen Meßzyklus hatten. Umgekehrt kann man selbstverständlich auch so vorgehen, daß anhand der im aktuellen  
20 Zyklus erhaltenen Abstands- und Geschwindigkeitsdaten vorausberechnet wird, welche Abstände und Relativgeschwindigkeiten im nächsten Meßzyklus für diese Objekte zu erwarten sind. Figur 10 zeigt eine mögliche, auf dem letzteren Prinzip beruhende Implementierung des Schrittes S23 in Figur 8.

25

- In Schritt S231 werden die im vorangegangenen Meßzyklus prädictierten (vorausgesagten) Werte für den Abstand und die Relativgeschwindigkeit und wahlweise auch für den Querversatz des ersten möglichen Objekts gelesen. Diese prädictierten Werte werden dann in Schritt  
30 S232 mit den Werten verglichen, die im aktuellen Zyklus für das gerade betrachtete Objekt (ausgewählt in Schritt S21 in Figur 8) erhalten wurden. Wenn die Abweichungen innerhalb zulässiger Toleranzgrenzen liegen, werden in Schritt S233 die beiden Objekte miteinander verknüpft (Tracking). Andernfalls wird der Schritt S233 über-  
35 sprungen.

Die Schritte S234 und S235 steuern eine Schleife, mit der die oben

- 17 -

beschriebenen Überprüfungen nacheinander für jedes mögliche Objekt aus dem vorausgegangenen Meßzyklus wiederholt werden. Wenn das aktuelle Objekt in Schritt S233 mit einem der Objekte aus dem vorausgegangenen Meßzyklus verknüpft werden konnte, so wird die Abfrage  
5 in S23 mit "ja" beantwortet, und das Verfahren wird mit Schritt S24 fortgesetzt. Andernfalls ist die Abfrage mit "nein" zu beantworten, und es erfolgt ein Sprung zu Schritt S25.

Figur 11 zeigt eine andere mögliche Implementierung des Schrittes  
10 S23 in Figur 8. Aus dem in Schritt S22 abgeschätzten Abstand des Objekts zum Zeitpunkt des vorangegangenen Meßzyklus und aus der (als annähernd konstant angenommenen) Relativgeschwindigkeit dieses Objekts werden in Schritt S231' die Frequenzen berechnet, bei denen die Peaks in den beiden im vorangegangenen Zyklus aufgenommenen  
15 Spektren gelegen haben müßten. Die Frequenzberechnung erfolgt nach der im Einleitungsteil der Beschreibung angegebenen Gleichung (1). In Schritt S232' wird dann überprüft, ob diese Frequenzen tatsächlich gemessen worden sind. Wenn dies der Fall ist, endet der Schritt S23 mit der Antwort "ja" (Schritt S233'), andernfalls mit  
20 der Antwort "nein" (Schritt S234').

Auch die Variante nach Figur 11 kann natürlich auch "vorwärts" ausgeführt werden, indem die Frequenzen berechnet werden, die für den nachfolgenden Meßzyklus zu erwarten sind.

25

Figur 12 zeigt eine Variante zu dem Programmablauf gemäß Figur 8. Diese Variante unterscheidet sich von Figur 8 im wesentlichen dadurch, daß der Schritt S27 in Figur 8 durch einen Schritt S28 ersetzt ist, in dem ein sogenanntes erweitertes Tracking durchgeführt  
30 wird. Die Überprüfung in Schritt S23 kann dabei sowohl nach den Verfahren gemäß Figur 10 (Objektmatching) als auch nach dem Verfahren gemäß Figur 11 (Frequenzmatching) erfolgen. Für den ersteren Fall zeigt Figur 13 eine mögliche Implementierung des Schrittes S28.

35

In Figur 13 wird in Schritt S281 das erste Element aus der Liste der realen Objekte ausgewählt. In Schritt S282 wird überprüft, ob

dieses Objekt im aktuellen Meßzyklus wiedergefunden wurde (positives Ergebnis bei der Abfrage in Schritt S23). Wenn dies nicht der Fall ist, spricht eine gewisse Wahrscheinlichkeit dafür, daß dieses Objekt aus dem Ortungsbereich des Radars verschwunden ist, d. h., es ist weniger plausibel, daß dieses Objekt bei späteren Messungen noch einmal auftauchen wird. Dementsprechend wird in Schritt S283 ein Plausibilitätsparameter für dieses Objekt verringert. In Schritt S284 wird dann geprüft, ob die Plausibilität noch oberhalb eines bestimmten Schwellenwertes liegt. Wenn dies nicht der Fall ist, wird das Objekt in Schritt S385 verworfen, d. h., es wird endgültig aus der Liste der realen Objekte entfernt.

Bei einem positiven Ergebnis in Schritt S284 wird das Objekt weiterhin als reales Objekt geführt, doch liegen keine aktuellen Meßdaten für den Abstand und die Relativgeschwindigkeit vor. Diese Daten werden deshalb in Schritt S286 geschätzt, indem die vorherigen Meßdaten extrapoliert werden.

Wenn das Objekt in Schritt S282 wiedergefunden wurde, wird in Schritt S287 geprüft, ob der Plausibilitätsparameter für dieses Objekt bereits einen oberen Grenzwert erreicht hat. Wenn dies nicht der Fall ist, wird in Schritt S288 die Plausibilität erhöht. Andernfalls wird der Schritt S288 übersprungen.

Die Schritte S289 und S290 steuern wieder eine Schleife, in der die obigen Überprüfungen für jedes Objekt in der Liste der realen Objekte wiederholt werden.

Figur 14 zeigt eine Implementierung des Schrittes S28 für den Fall, daß in Schritt S23 das Frequenzmatching gemäß Figur 11 angewandt wird. Im Vergleich zu Figur 13 weist die Unteroutine gemäß Figur 14 einen zusätzlichen Schritt S291 auf, in dem aus den geschätzten Daten für die Position und Relativgeschwindigkeit des nicht wiedergefundenen Objekts die zugehörigen Frequenzen im ersten und zweiten Spektrum berechnet werden. Diese Frequenzen gelten dann im nächsten Meßzyklus bei dem Schritt S282' als "gemessen".

- 19 -

Das erweiterte Tracking in Schritt S28 macht das Verfahren robuster gegenüber einem vorübergehenden Verlust eines Objektes. Je häufiger das Objekt wiedergefunden wird, desto höher wird seine Plausibilität - bis zu einem oberen Grenzwert. Vorübergehender Verlust des

5 Objektes führt zu einer Verringerung der Plausibilität und das Objekt bleibt so lange in der Liste der realen Objekte geführt, bis die Plausibilität unter einen unteren Grenzwert abgenommen hat.

Hinsichtlich des "Matching" in Schritt S23 und in Figur 10 oder 11

10 ist bei den Verfahren gemäß Figuren 12 bis 14 allerdings eine leichte Modifikation erforderlich. Bei der Überprüfung in Schritt S23 darf nicht nur auf die unmittelbar vorausgegangene Messung abgestellt werden, sondern es müssen auch hier alle Objekte einbezogen werden, die noch in der Liste der realen Objekte enthalten

15 sind, auch wenn sie bei der unmittelbar vorausgegangenen Messung vorübergehend verloren gegangen waren. Alternativ dazu kann in Schritt S282 (Figur 13) die Überprüfung auf diejenigen Objekte des aktuellen Zyklus ausgedehnt werden, die in Schritt S23 zunächst verworfen wurden. Für diese Objekte ist dann gegebenenfalls der

20 Schritt S24 (Aufnahme in die Liste der realen Objekte) nachzuholen.

Eine andere Ausführungsform des Verfahrens wird nun unter Bezugnahme auf Figuren 15 bis 18 beschrieben.

25 Figur 15 zeigt eine abgewandelte Form der Frequenzkurve 10 in Figur 1. Bei dieser Frequenzkurve schließt sich an die fallende Rampe 14 noch einmal eine steigende Rampe 30 an, bevor der Meßzyklus wiederholt wird. Demgemäß werden hier innerhalb eines Meßzyklus drei Messungen M1, M2 und M3 vorgenommen. Bei der dritten Messung M3 ist

30 die Modulationsdauer T3 doppelt so groß wie bei den beiden anderen Messungen. Die Steigung der Rampe 30 ist nur halb so groß wie bei der Rampe 12. Der Frequenzhub F ist folglich auch bei der dritten Messung M3 maximal. Auch bei der dritten Messung können daher die Objektabstände mit optimaler Auflösung gemessen werden. Hinsicht-

35 lich der Relativgeschwindigkeiten wird bei der dritten Messung aufgrund der größeren Modulationsdauer eine doppelt so hohe Auflösung erreicht wie bei den Messungen M1 und M2. Die Zyklusdauer ist hier

genau so groß wie bei dem herkömmlichen Verfahren, bei dem vier Messungen innerhalb eines Zyklus durchgeführt werden. Der Vorteil des Verfahrens gemäß Figur 15 gegenüber dem herkömmlichen Verfahren besteht darin, daß die Objektabstände innerhalb eines Zyklus dreimal mit maximaler Auflösung gemessen werden können und die Relativgeschwindigkeiten sogar einmal mit doppelter Auflösung.

Für das Matching wird hier anstelle der Resultate der Messungen M1 und M2 in den vorangegangenen Zyklen oder zusätzlich dazu das Resultat der Messung M3 im aktuellen Zyklus oder in einem vorangegangenen oder nachfolgenden Zyklus herangezogen.

Ein Beispiel für den Verfahrensablauf ist in Figur 16 dargestellt. Die Schritte S101 und S102 in Figur 16 entsprechen den Schritten S1 und S21 in Figur 8. In Schritt S103 wird für jedes mögliche Objekt, dessen Abstände und Relativgeschwindigkeiten in Schritt S101 aufgrund der Messungen M1 und M2 im aktuellen Zyklus berechnet wurden, gemäß Gleichung (1) die erwartete Frequenz des betreffenden Peaks in dem Spektrum berechnet, das in der Messung M3 für die Rampe 30 aufgenommen wird. In Schritt S104 wird dann überprüft, ob bei der dritten Messung tatsächlich ein Peak bei dieser Frequenz gefunden wird. Wenn dies der Fall ist, wird das mögliche Objekt in Schritt F105 in die Liste der realen Objekte übernommen. Andernfalls wird der Schritt S105 übersprungen. Die Schritte S106 und S107 dienen wieder zur Schleifensteuerung.

Figur 17 zeigt eine Variante, bei der im Vergleich zu Figur 16 bei negativem Ergebnis der Abfrage in Schritt S104 zwei Schritte S108 und S109 ausgeführt werden. Hier wird das Matching anhand der dritten Messung M3 durch einfaches Tracking und Objektmatching analog zu Figur 8 ergänzt. Dazu wird in Schritt S108 aufgrund der gemessenen Abstands- und Geschwindigkeitsdaten für das betrachtete Objekt geschätzt, welchen Abstand und welche Relativgeschwindigkeit dieses Objekt im vorangegangenen Meßzyklus hatte. In Schritt S109 wird überprüft, ob ein Objekt mit diesem Abstand und dieser Relativgeschwindigkeit im vorangegangenen Zyklus vorhanden war. Wenn dies der Fall war, wird der Schritt S105 ausgeführt, obwohl die berech-

- 21 -

nete Frequenz bei der dritten Messung nicht bestätigt werden konnte. Nur wenn auch die Abfrage in Schritt S109 negativ ist, wird der Schritt S105 übersprungen.

- 5 Figur 18 zeigt eine Abwandlung zu Figur 17, bei der zusätzlich am Schluß der Prozedur, in Schritt S110, ein erweitertes Tracking analog zu Figuren 12 bis 14 durchgeführt wird.

10

15

20

25

30

35

5

10

15

#### Ansprüche

1. Verfahren zur Abstands- und Geschwindigkeitsmessung an mehreren Objekten mittels FMCW-Radar, bei dem:
  - 20 - Messungen (M1, M2, M3) mit mindestens zwei verschiedenen Frequenzrampen (12, 14, 30) zyklisch wiederholt werden,
    - in jeder Messung das gesendete Signal ( $f_s$ ) mit dem empfangenen Signal gemischt wird und das Spektrum (22, 24) des gemischten Signals aufgenommen wird,
  - 25 - in einer Matching-Prozedur, die zu demselben Objekt gehörenden Peaks in den für verschiedene Rampen aufgenommenen Spektren einander zugeordnet werden und die Abstände (d) und Geschwindigkeiten (v) der Objekte aus den Frequenzen ( $f_1$ ,  $f_2$ ) der Peaks berechnet werden und
  - 30 - in einer Tracking-Prozedur die zu verschiedenen Zeiten gemessenen Objekte anhand der Konsistenz ihrer Abstands- und Geschwindigkeitsdaten miteinander identifiziert werden, dadurch gekennzeichnet, daß
    - jeder Meßzyklus höchstens drei Messungen (M1, M2; M3) mit ver-
    - 35 schiedenen Frequenzrampen (12, 14; 30) umfaßt,
    - für jede plausible Kombination aus zwei Peaks, von denen einer bei einer ersten Messung (M1) und der andere bei einer zweiten Mes-



sung (M2) desselben Zyklus aufgenommen wurde, der Abstand und die Geschwindigkeit eines durch diese Peaks repräsentierten möglichen Objekts berechnet werden,

- aus dem Abstand und der Geschwindigkeit des möglichen Objekts
- 5 das erwartete Resultat mindestens einer weiteren Messung (M1, M2; M3) berechnet wird und
- das mögliche Objekt verworfen wird, wenn nicht mindestens ein erwartetes Resultat mit dem gemessenen Resultat übereinstimmt.
- 10 2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß in jedem Meßzyklus nur zwei Messungen (M1, M2) ausgeführt werden, und das die weitere Messung eine Messung in einem anderen Meßzyklus ist.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das er-
- 15 wartete Resultat der weiteren Messung, der Abstand und/oder die Relativgeschwindigkeit des Objekts in dem anderen Meßzyklus ist.
4. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das erwartete Resultat der weiteren Messung die Frequenz eines Peaks in
- 20 mindestens einem Spektrum ist, das in dem anderen Meßzyklus aufgenommen wurde.
5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß in jedem Meßzyklus drei Messungen (M1, M2, M3) durchgeführt werden, und daß
- 25 die weitere Messung eine dritte Messung (M3) ist, bei der die Modulationsdauer (T3) der Frequenzrampe (30) größer ist als bei den ersten und zweiten Messungen (M1, M2).
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß das er-
- 30 wartete Resultat der weiteren Messung (M3) die Frequenz eines Peaks in dem Spektrum ist, das bei dieser Messung aufgenommen wird.
7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß auch ein erwartetes Resultat für die erste und zweite Messung (M1,
- 35 M2) in einem anderen Meßzyklus berechnet und mit dem tatsächlichen Resultat verglichen wird.

- 24 -

8. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Vergleich mit den Resultaten der weiteren Messungen für mehrere aufeinanderfolgenden Meßzyklen durchgeführt werden.

- 5 9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß jedem Objekt ein Plausibilitätsparameter zugeordnet wird, der erhöht wird, wenn das erwartete Resultat mit einem gemessenen Resultat aus einem anderen Meßzyklus übereinstimmt, und der verringert wird, wenn das erwartete Resultat mit keinem der gemessenen Resultate überein-
- 10 stimmt, und daß das Objekt nur dann verworfen wird, wenn der Plausibilitätsparameter unter einen vorgegebenen Schwellenwert sinkt.

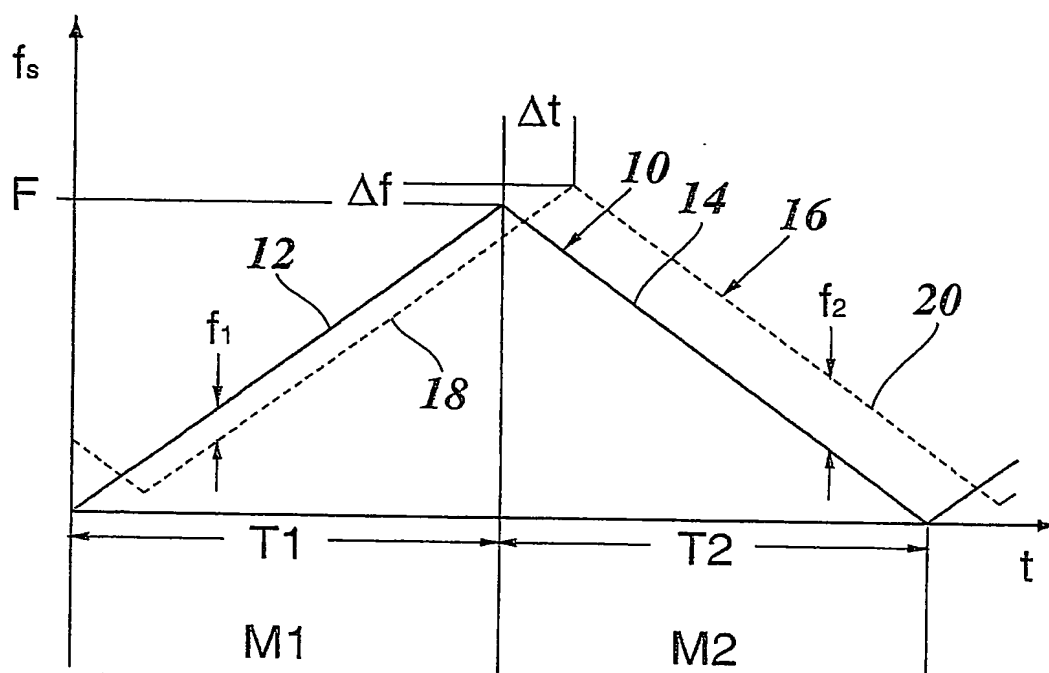
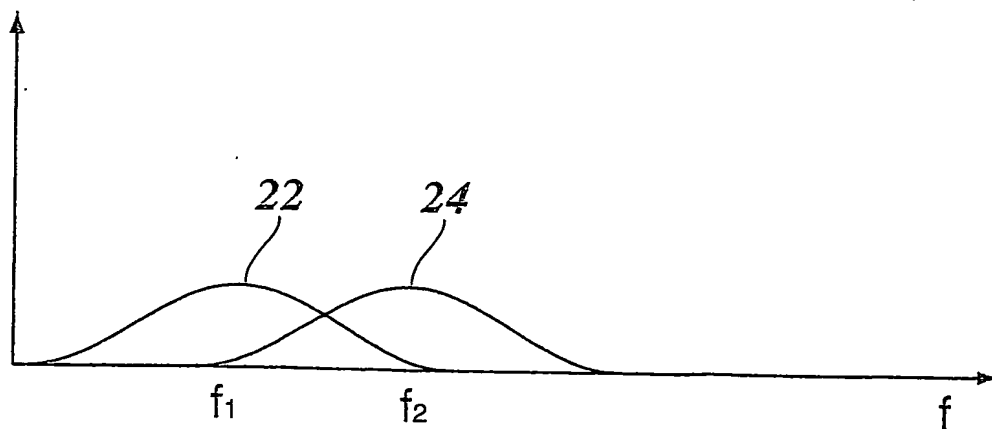
15

20

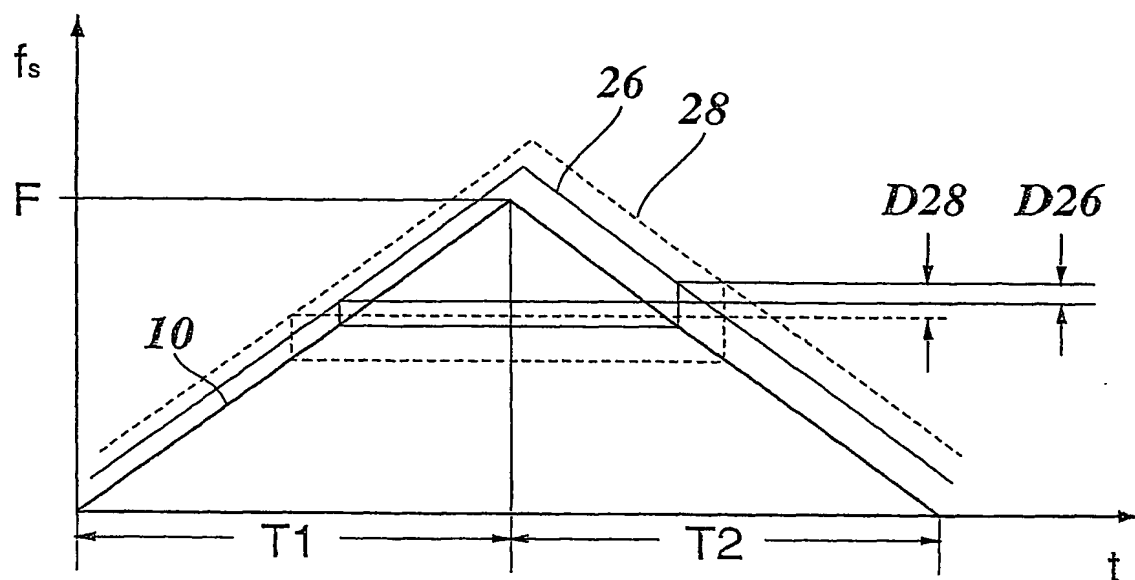
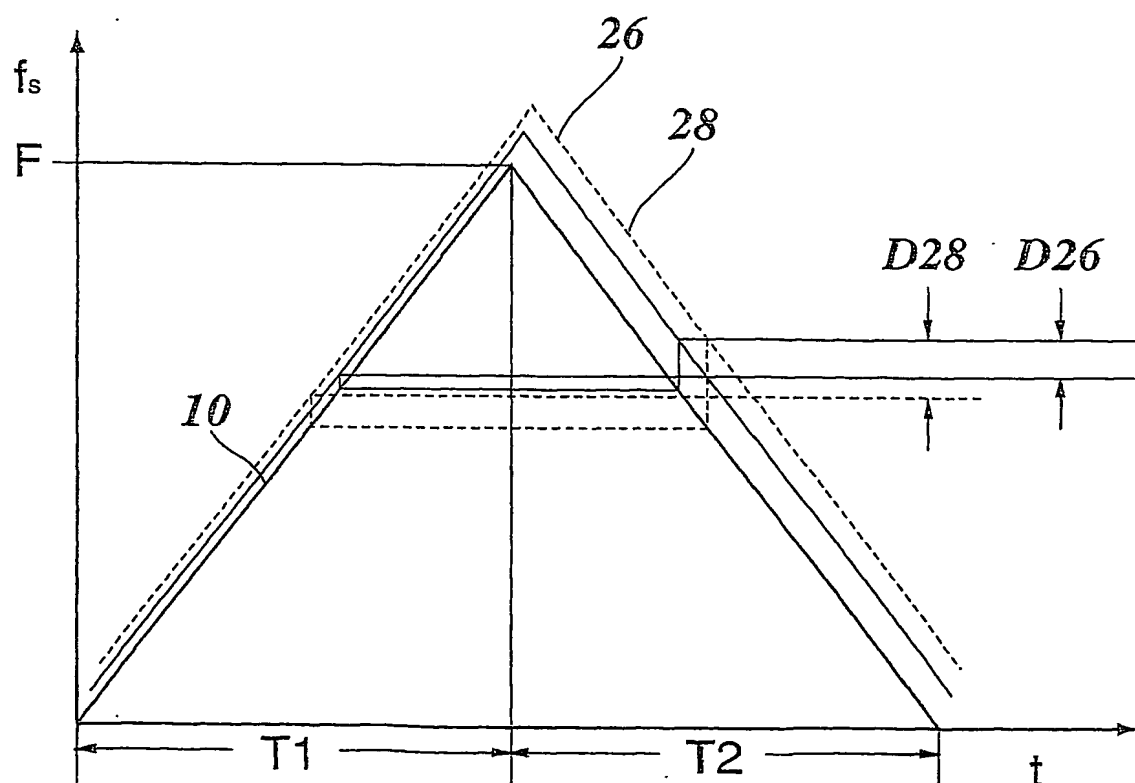
25

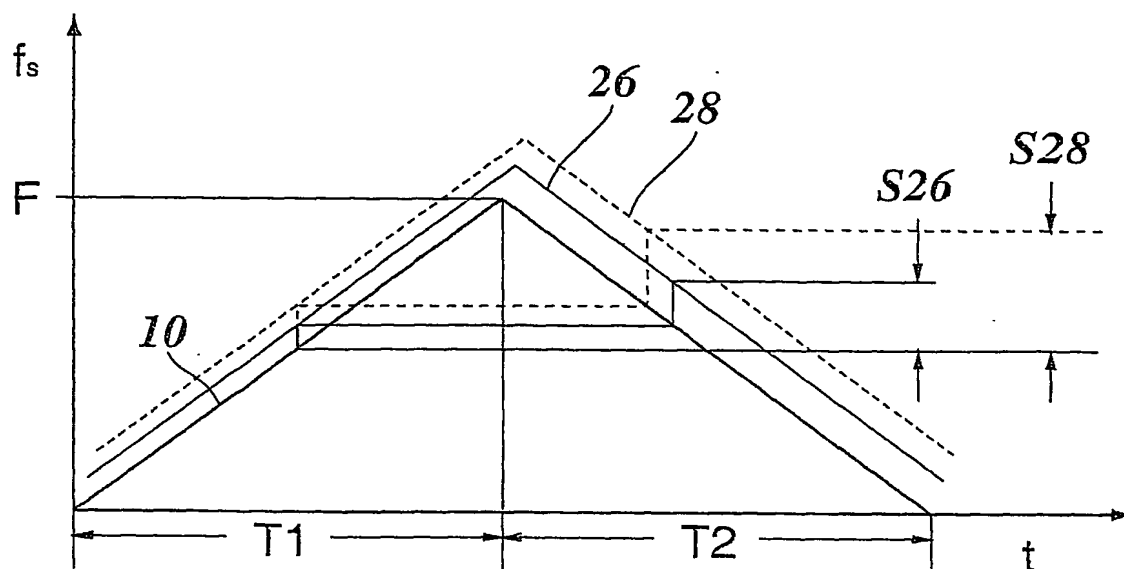
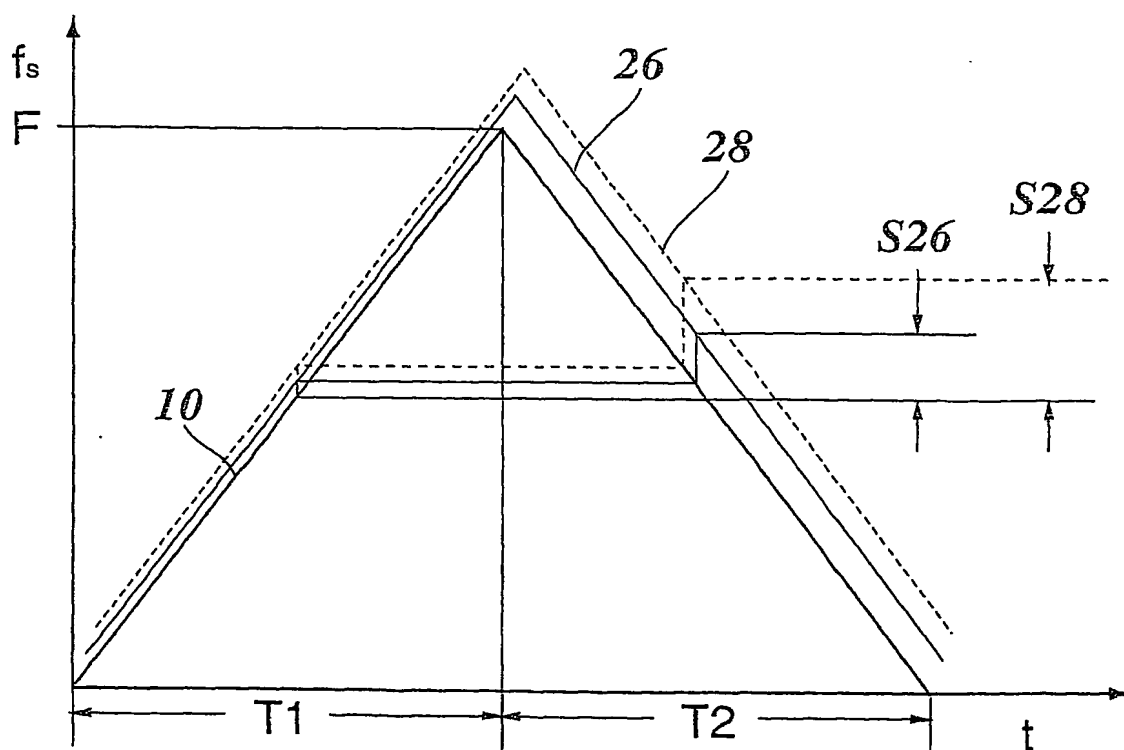
30

35

*Fig. 1**Fig. 2*

2/15

*Fig. 3**Fig. 4*

*Fig. 5**Fig. 6*

4/15

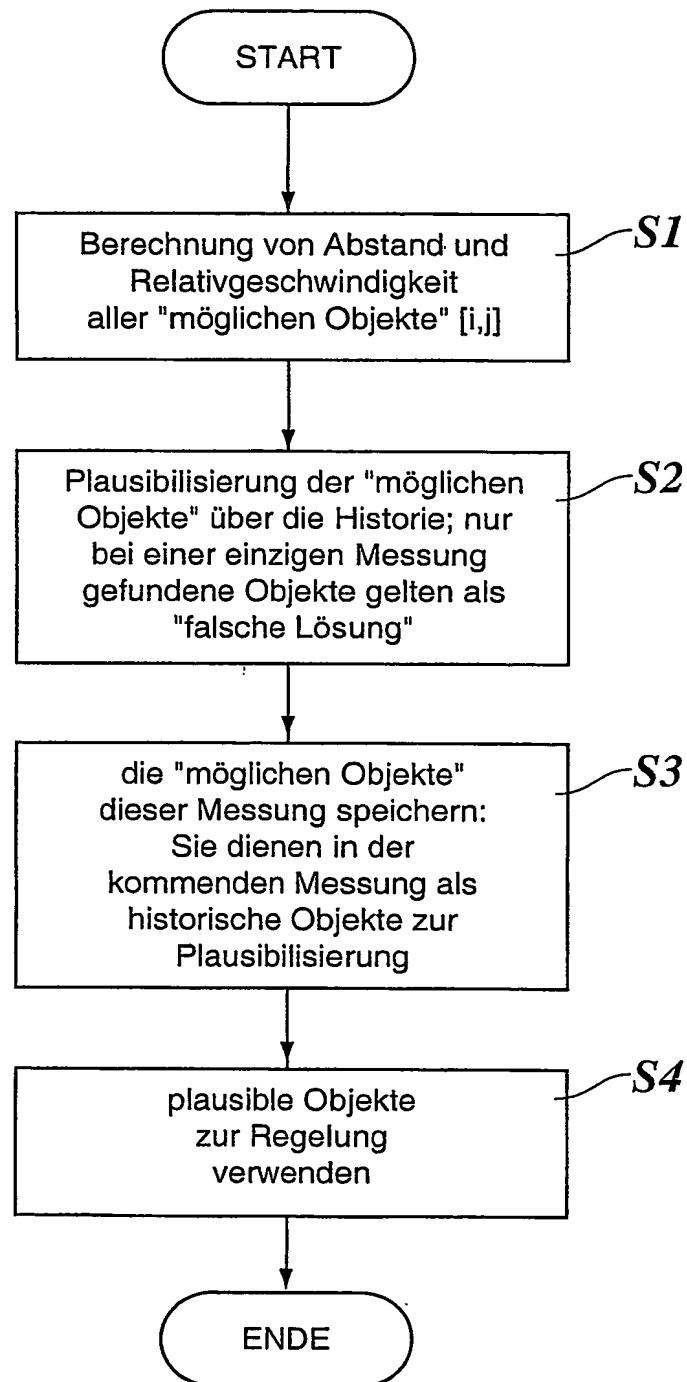
*Fig. 7*

Fig. 8

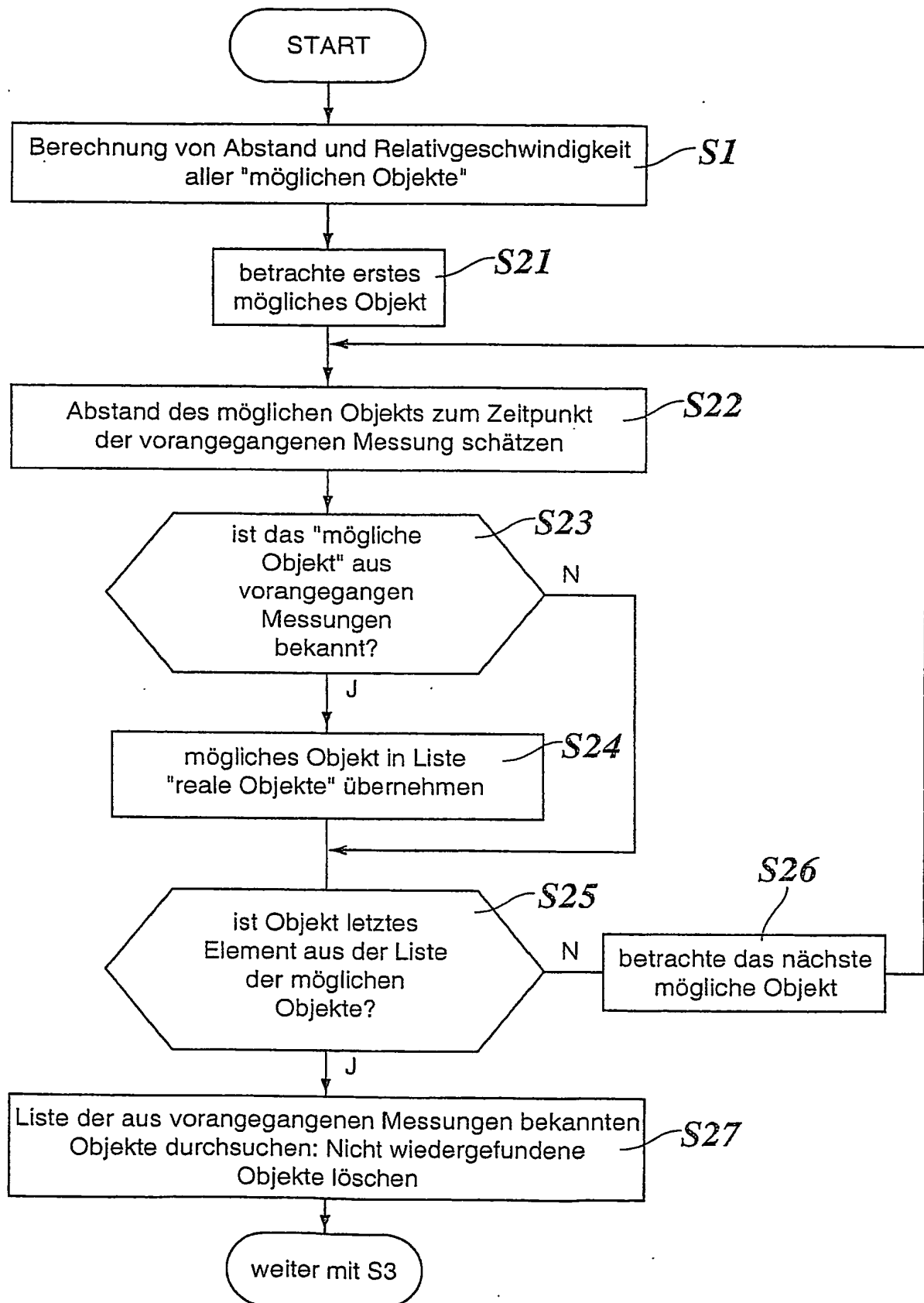


Fig. 9

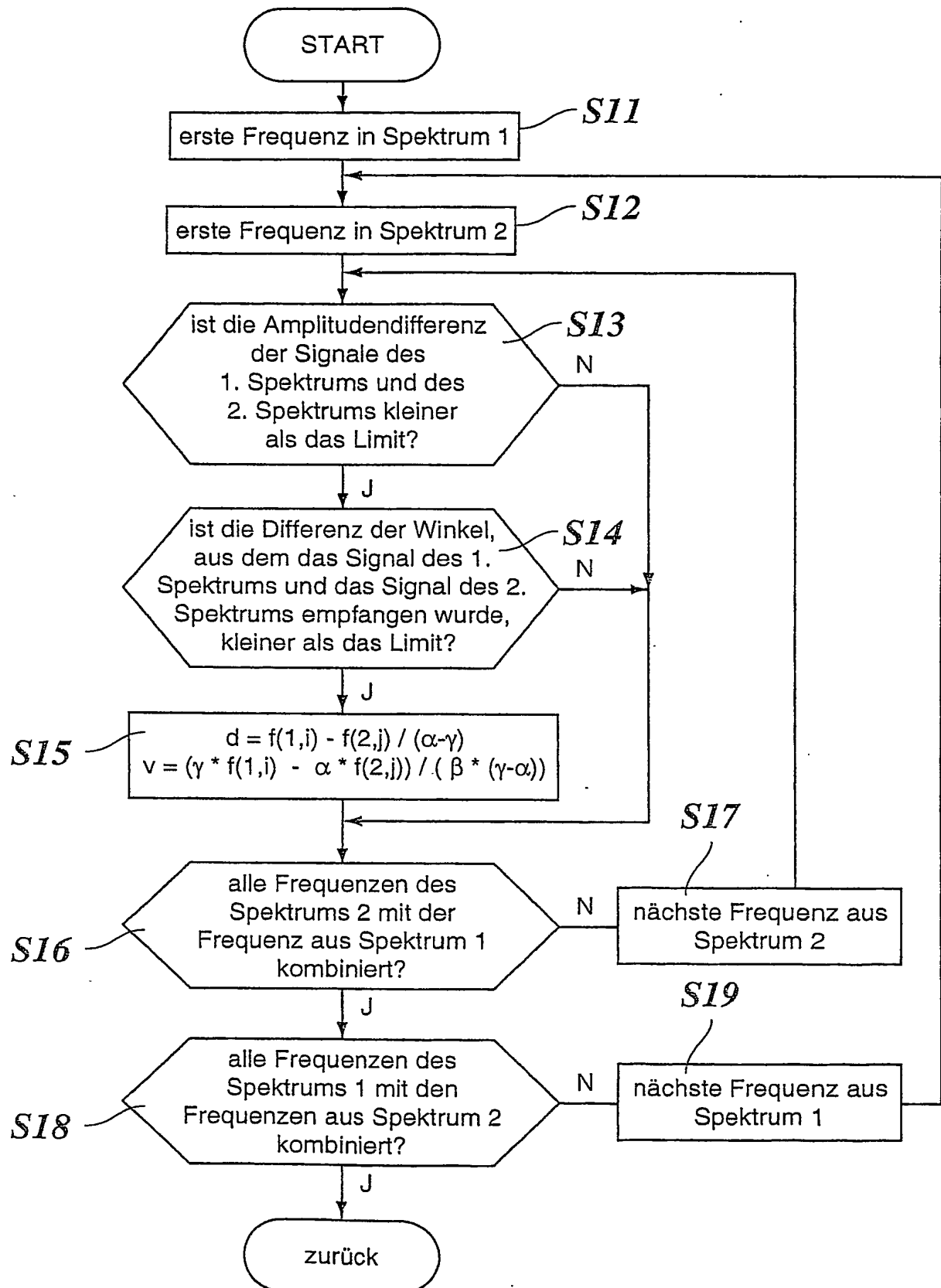
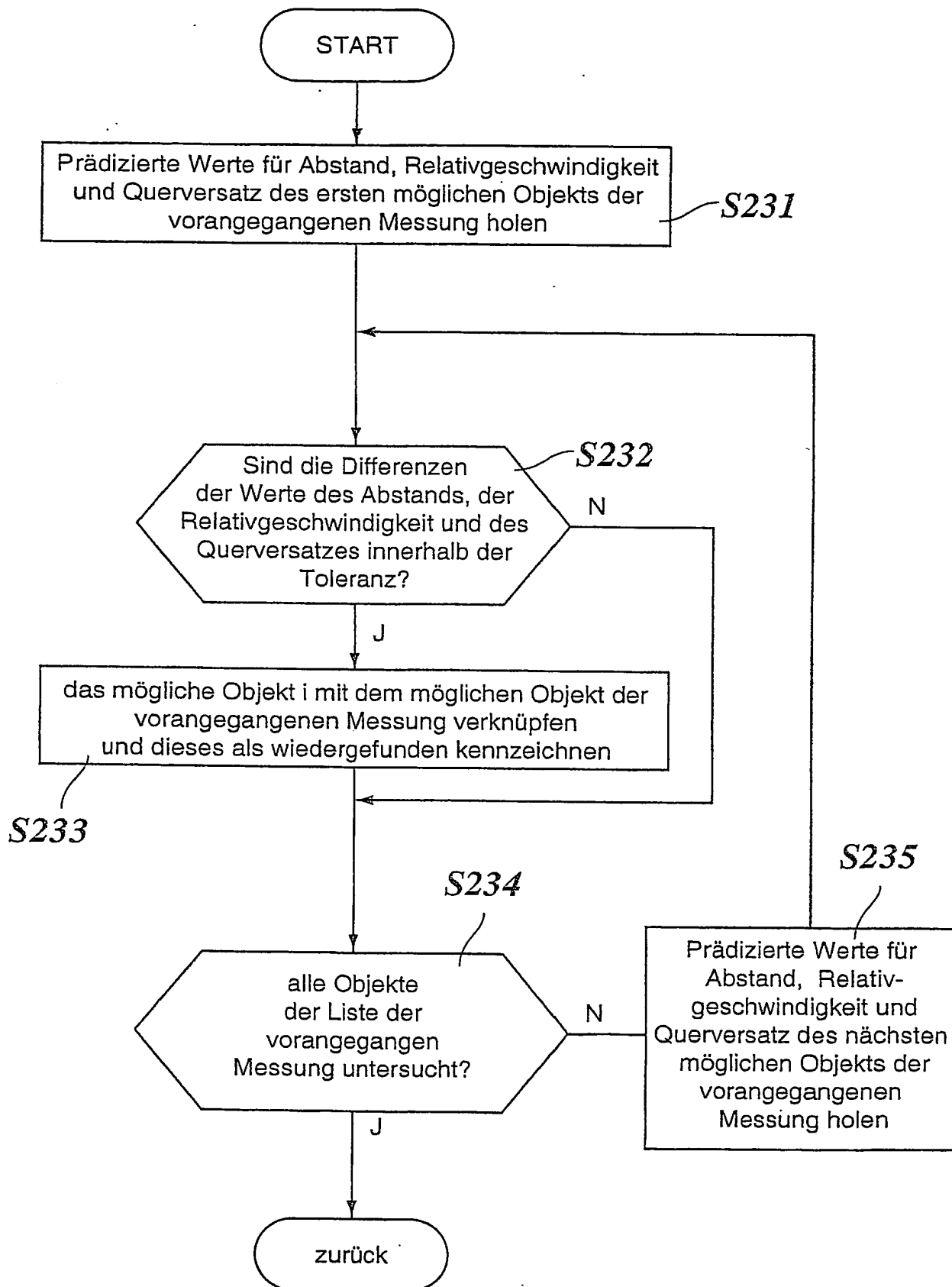
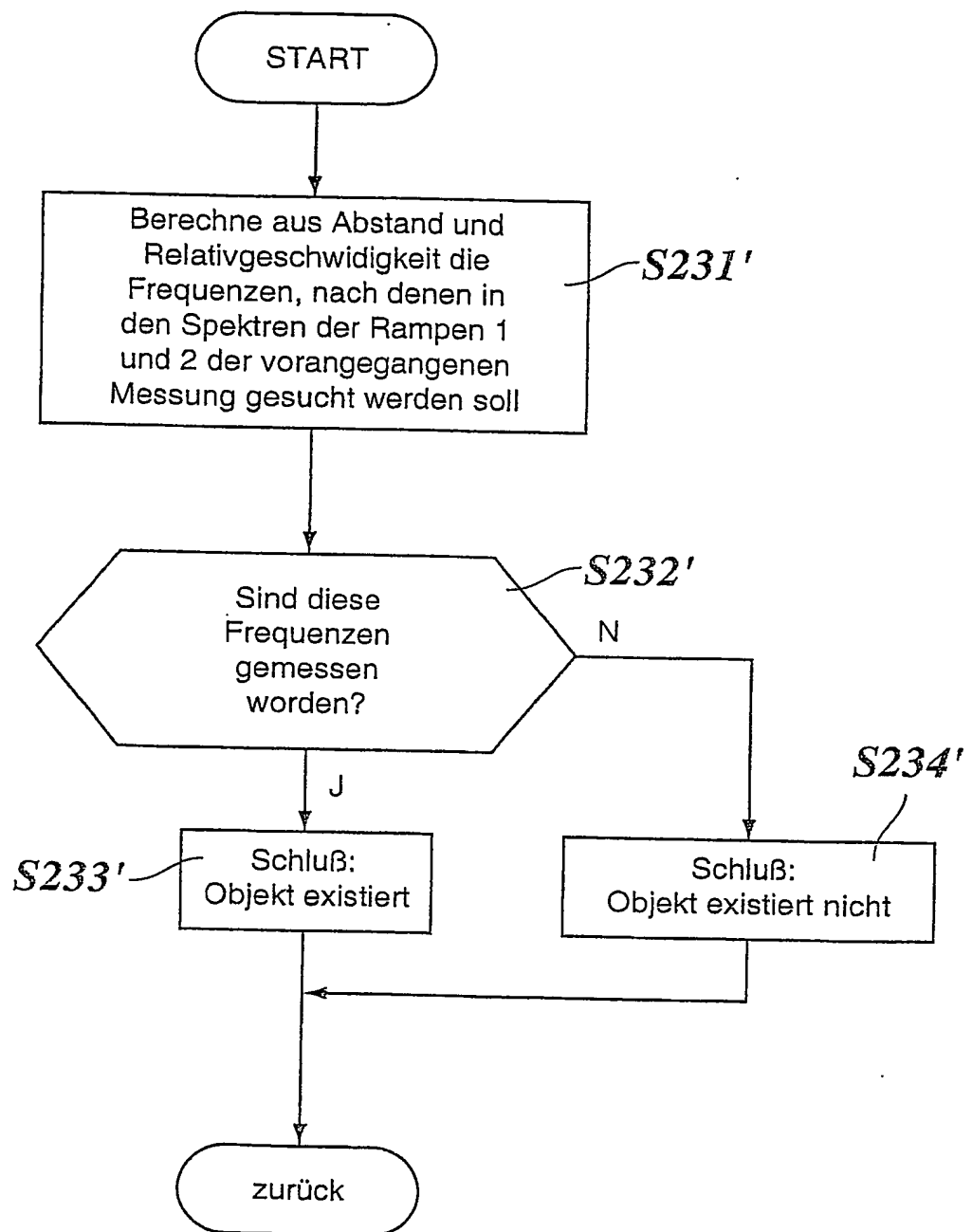
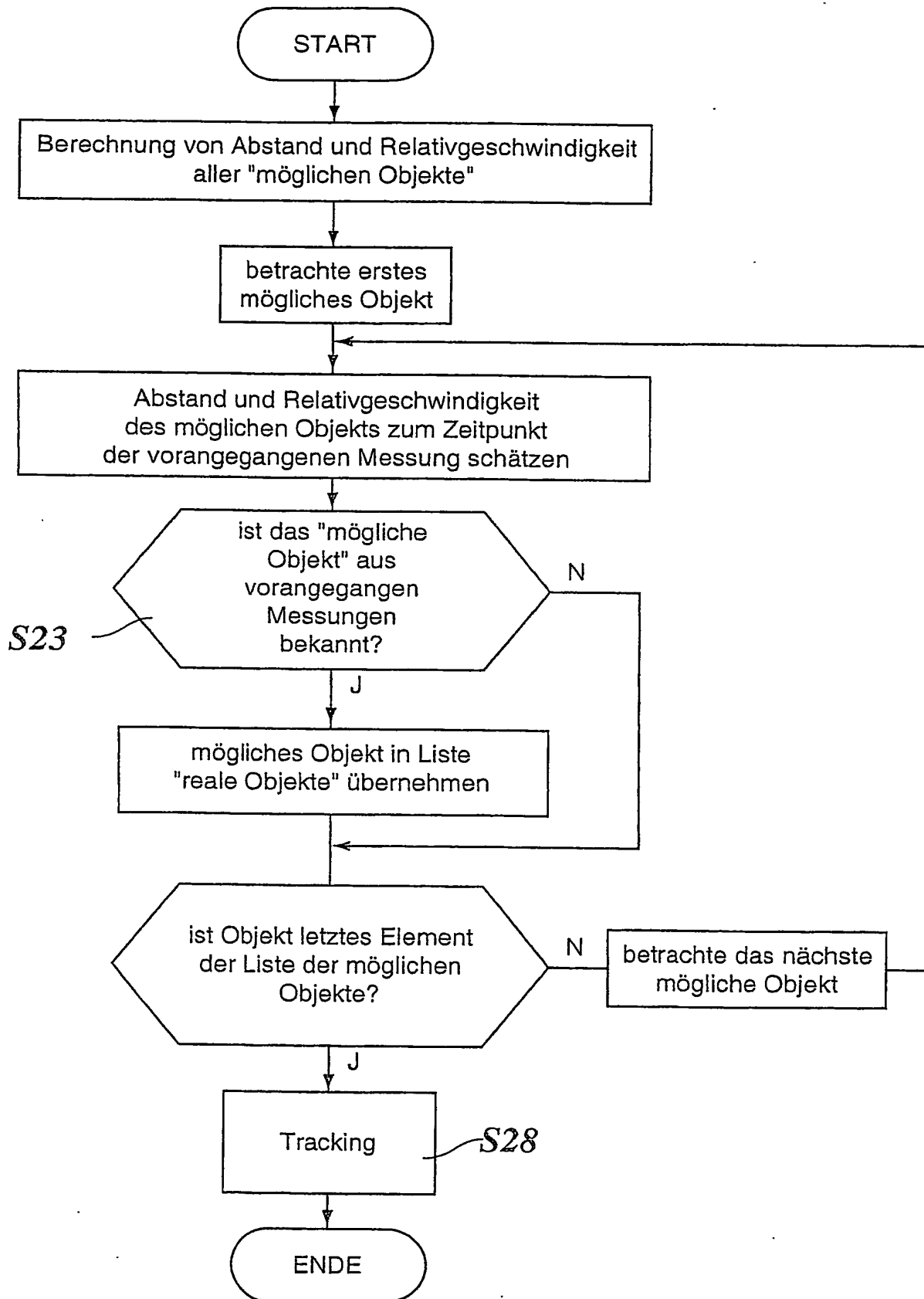


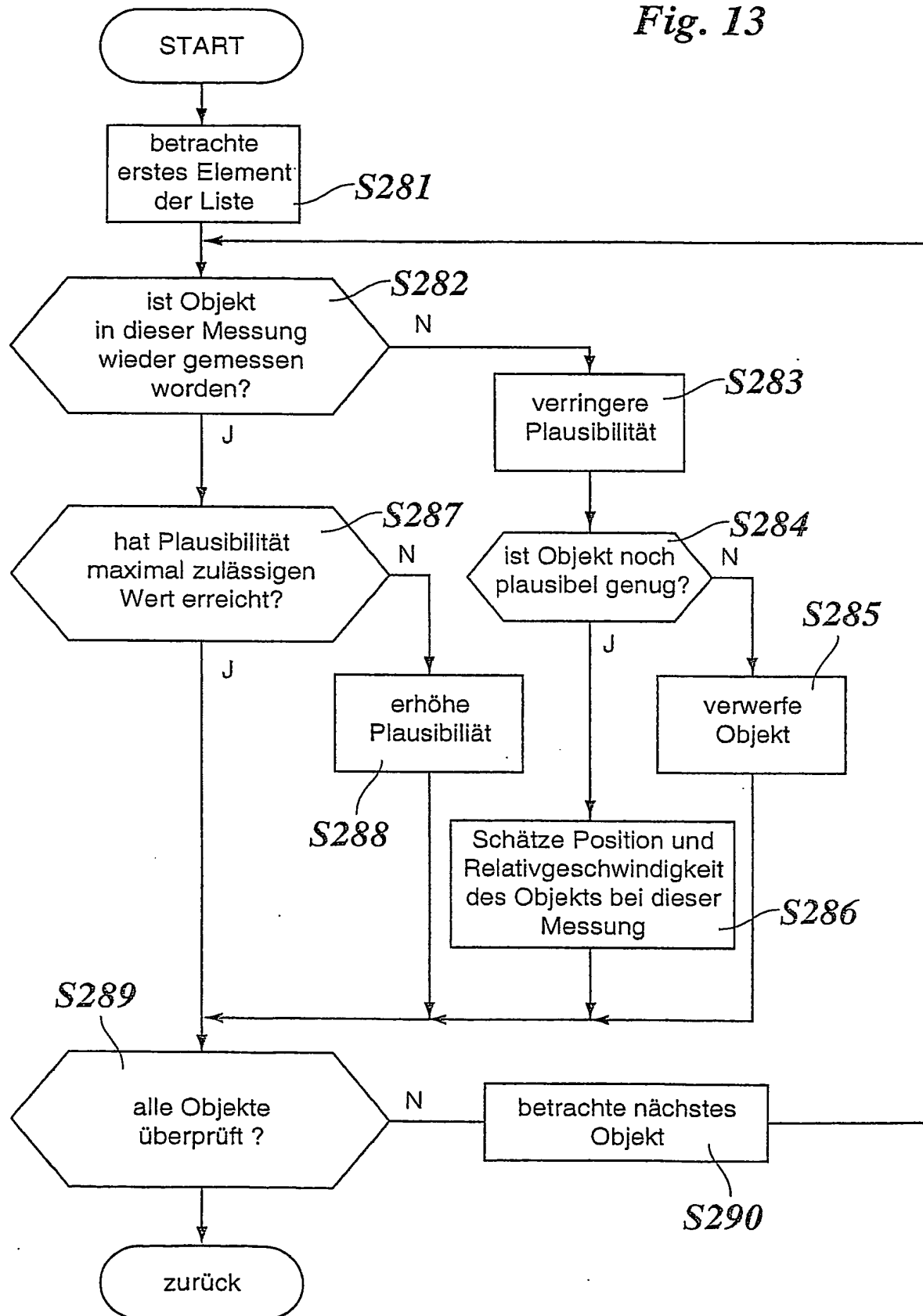


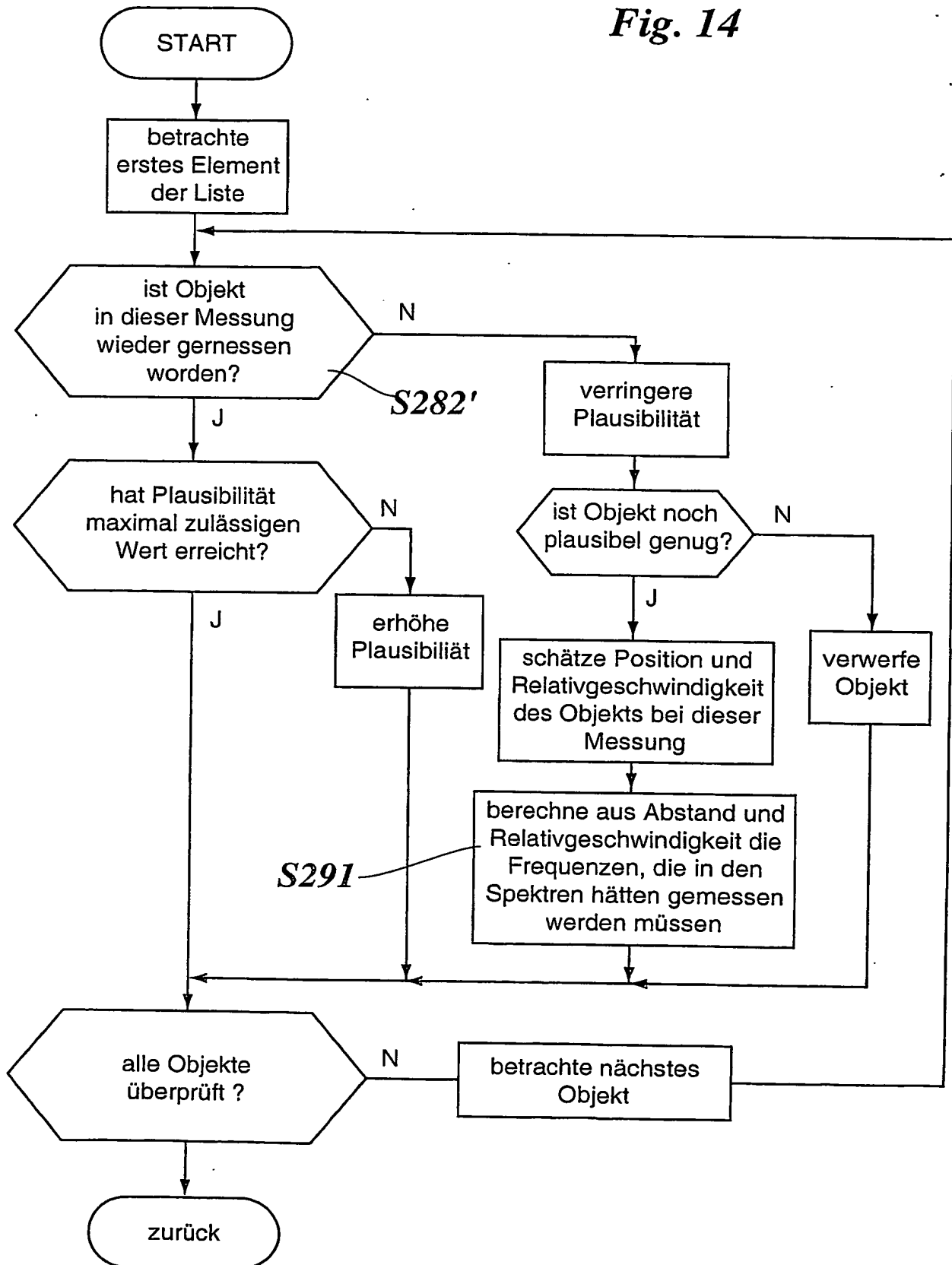
Fig. 10



*Fig. 11*

*Fig. 12*

*Fig. 13*

*Fig. 14*

12/15

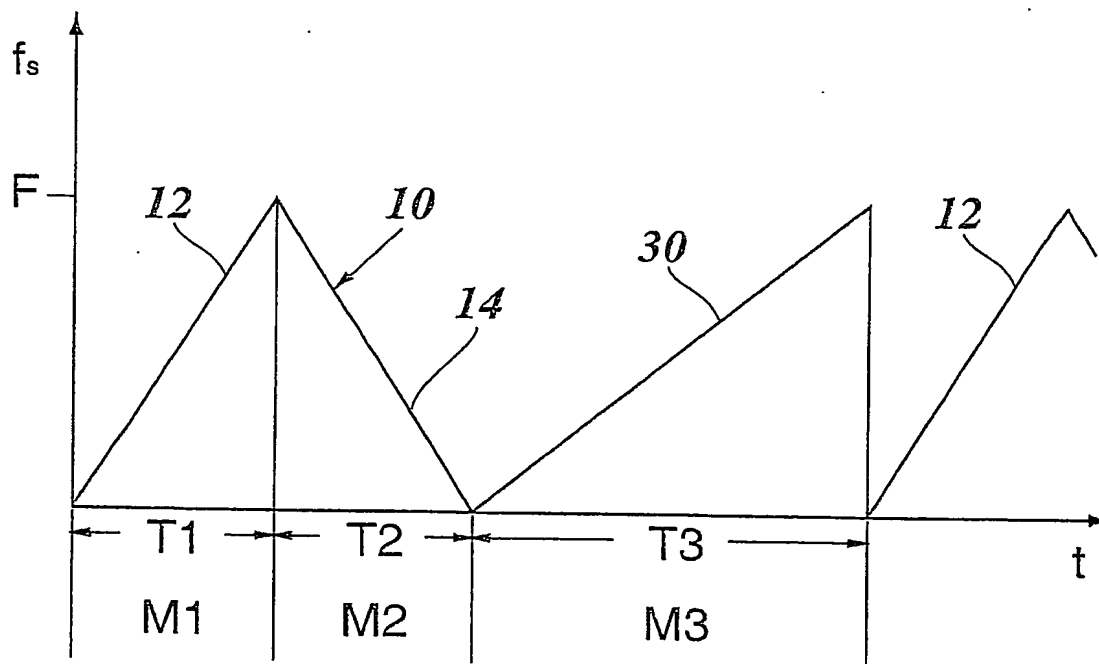
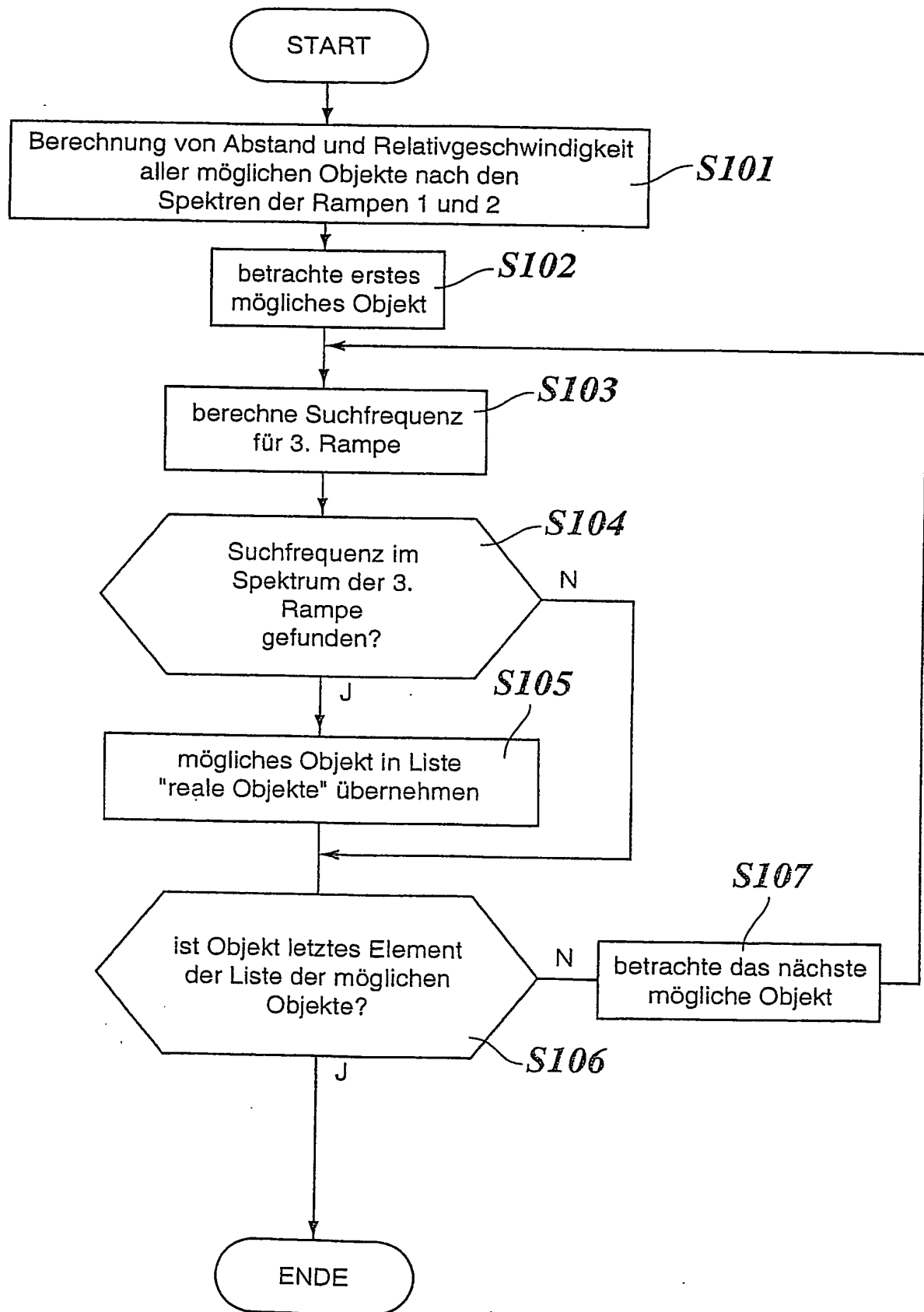
*Fig. 15*

Fig. 16



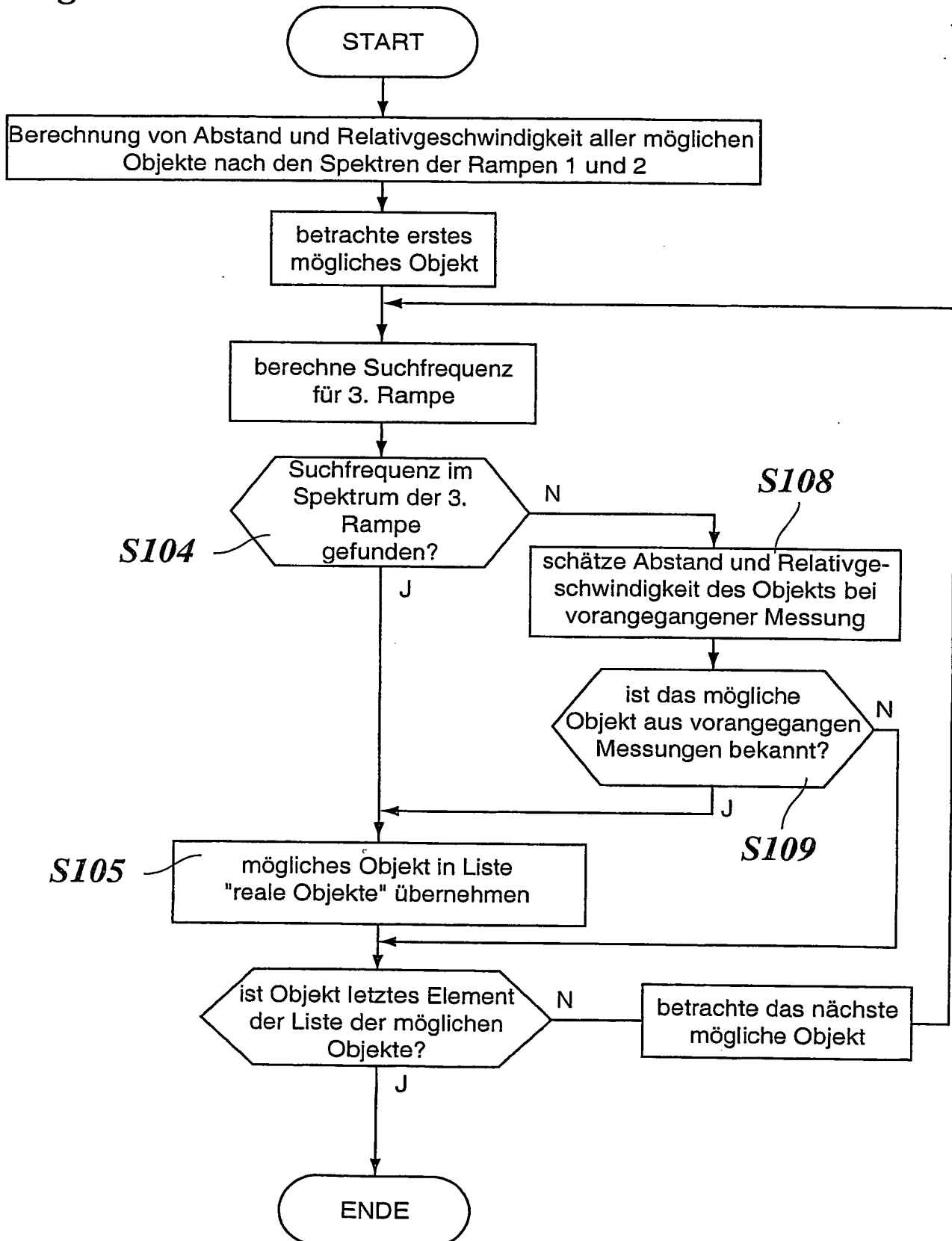
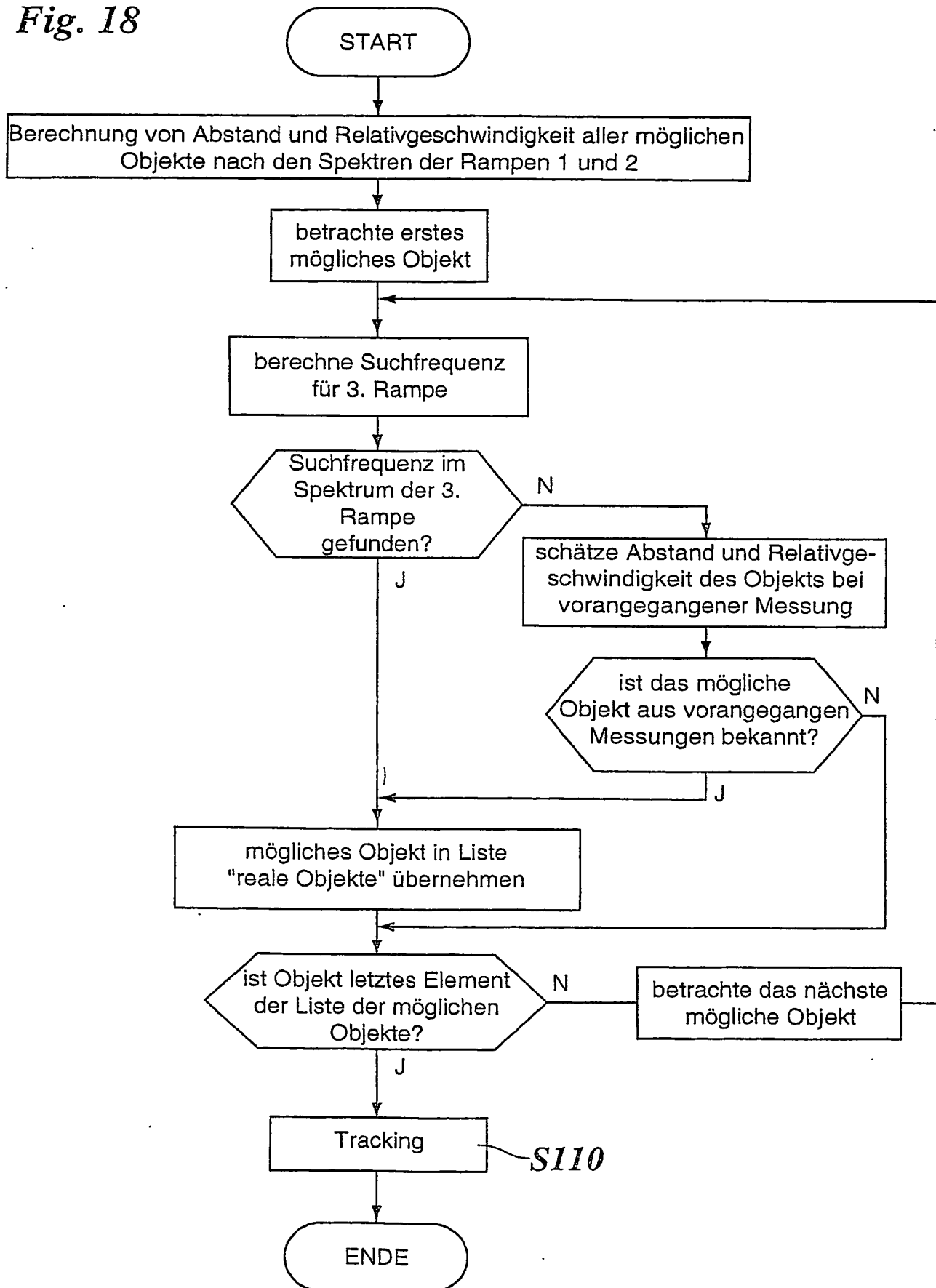
**Fig. 17**



Fig. 18



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE 03/00821

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 7 G01S13/34 G01S13/93

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 7 G01S

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the International search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, INSPEC, PAJ

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 5 625 362 A (RICHARDSON MICHAEL R) 29 April 1997 (1997-04-29) column 2, line 42 -column 3, line 14; figure 2 column 6, line 27-63	1,2,4,8
X	US 5 963 162 A (IIHOSHI AKIRA ET AL) 5 October 1999 (1999-10-05) column 1, line 59 -column 2, line 30; figures 2A,2B,4 column 6, line 14 -column 6, line 56	1-3
X	US 5 619 208 A (TAMATSU YUKIMASA ET AL) 8 April 1997 (1997-04-08) column 2, line 18 -column 4, line 3; figures 2-4 column 9, line 22 -column 10, line 67 -/-	1-4

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.☒ Patent family members are listed in annex.

## \* Special categories of cited documents :

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- \*Z\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

14 July 2003

Date of mailing of the international search report

22/07/2003

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Grübl, A

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE 03/00821

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 2000, no. 01, 31 January 2000 (2000-01-31) & JP 11 271432 A (TOYOTA CENTRAL RES &AMP;DEV LAB INC), 8 October 1999 (1999-10-08) abstract -----	1,2,4
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 2000, no. 04, 31 August 2000 (2000-08-31) & JP 2000 019245 A (NEC CORP), 21 January 2000 (2000-01-21) abstract -----	

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/DE 03/00821

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5625362	A	29-04-1997	GB 2283631 A DE 59406787 D1 WO 9512824 A1 EP 0727051 A1 JP 9504612 T	10-05-1995 01-10-1998 11-05-1995 21-08-1996 06-05-1997
US 5963162	A	05-10-1999	JP 3305624 B2 JP 11038129 A	24-07-2002 12-02-1999
US 5619208	A	08-04-1997	JP 8262130 A DE 19602437 A1	11-10-1996 25-07-1996
JP 11271432	A	08-10-1999	NONE	
JP 2000019245	A	21-01-2000	JP 3114700 B2	04-12-2000

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
IPK 7 G01S13/34 G01S13/93

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RESEARCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
IPK 7 G01S

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, INSPEC, PAJ

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 5 625 362 A (RICHARDSON MICHAEL R) 29. April 1997 (1997-04-29) Spalte 2, Zeile 42 - Spalte 3, Zeile 14; Abbildung 2 Spalte 6, Zeile 27-63	1,2,4,8
X	US 5 963 162 A (IIHOSHI AKIRA ET AL) 5. Oktober 1999 (1999-10-05) Spalte 1, Zeile 59 - Spalte 2, Zeile 30; Abbildungen 2A, 2B, 4 Spalte 6, Zeile 14 - Spalte 6, Zeile 56	1-3
X	US 5 619 208 A (TAMATSU YUKIMASA ET AL) 8. April 1997 (1997-04-08) Spalte 2, Zeile 18 - Spalte 4, Zeile 3; Abbildungen 2-4 Spalte 9, Zeile 22 - Spalte 10, Zeile 67 -/-	1-4

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

\*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

\*E\* Älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

\*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

\*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

\*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*Z\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

14. Juli 2003

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

22/07/2003

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Grübl, A

## C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 2000, no. 01, 31. Januar 2000 (2000-01-31) & JP 11 271432 A (TOYOTA CENTRAL RES &DEV LAB INC), 8. Oktober 1999 (1999-10-08) Zusammenfassung ----	1,2,4
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 2000, no. 04, 31. August 2000 (2000-08-31) & JP 2000 019245 A (NEC CORP), 21. Januar 2000 (2000-01-21) Zusammenfassung -----	

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 03/00821

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 5625362 A	29-04-1997	GB 2283631 A	10-05-1995
		DE 59406787 D1	01-10-1998
		WO 9512824 A1	11-05-1995
		EP 0727051 A1	21-08-1996
		JP 9504612 T	06-05-1997
US 5963162 A	05-10-1999	JP 3305624 B2	24-07-2002
		JP 11038129 A	12-02-1999
US 5619208 A	08-04-1997	JP 8262130 A	11-10-1996
		DE 19602437 A1	25-07-1996
JP 11271432 A	08-10-1999	KEINE	
JP 2000019245 A	21-01-2000	JP 3114700 B2	04-12-2000